

جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

"التحليل الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً باستخدام نظامي الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي"

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد
م. نسرين بهجت الجبيلي

إشراف

د. عبد الرحمن السرحان بجبوج

أ.د. عصام علي ناصر

التحليل الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً باستخدام نظامي الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً باستخدام نظامي الكرات المعدنية (ball system) والنواس الاحتكاكي (FPS). وذلك من خلال الدراسة التحليلية لبعض نماذج الأبنية القائمة باستخدام برنامج Etabs، وتقييم الاستجابة الديناميكية قبل العزل وبعده وذلك وفق اتجاهين أفقيين لها تحت تأثير زلزالي لوما برينا ولوس أنجلوس.

كما تناول البحث مقارنة بين فعالية نظامي العزل المدروسين تجلي بتقييم مقادير الاستجابة الديناميكية لنماذج الأبنية المدروسة.

في الحالة التي يتم فيها استخدام أنظمة العزل الزلزالي كشكل من أشكال الحماية الزلزالية، من الضروري جداً فهم تأثير البارامترات الخاصة بنظام العزل على استجابة المنشأ المعزول، ولهذا الهدف تمت دراسة مدى تأثير بعض العوامل المتمثلة بشكل النموذج الرياضي لنظام العزل الزلزالي (نموذج خطي مكافئ أو نموذج ثنائي الخطية)، تأثير نصف قطر التقعر (R) لعازل النواس الاحتكاكي (FPS)، ومعامل احتكاك سطح الانزلاق لهذا العازل (μ).

لقد أظهر السلوك الديناميكي لنماذج الأبنية المدروسة انخفاضاً واضحاً في قيمة القوة المنتقلة إلى المنشأ المعزول، وكذلك في قيمة التسارع الطابقي المطلق الأعظمية نتيجة استخدام هذين النوعين من أنظمة العزل الزلزالي. وأنّ هناك تناقصاً في قيم الانتقالات النسبية، وهذا يعني تخفيض الأضرار التي قد تصيب العناصر الإنشائية وغير الإنشائية. وقد تبين عند المقارنة بين فعالية العازلين قيد الدراسة أنّ عازل النواس الاحتكاكي (FPS) يعطي قوة قص وتسارع أكبرين، ولكن انتقالات قاعدية أقل في المبنى المعزول في حين أنّ عازل الكرات المعدنية يعطي قوة قص وتسارع أصغر، ولكن انتقالات قاعدية أكبر.

كما بيّنت الدراسة أنّ قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق في المبنى تتغير بشكل كبير تبعاً لشكل النموذج الرياضي لنظام العزل الزلزالي (نموذج خطي مكافئ، نموذج ثنائي الخطية)، وتتناقص هذه القيمة مع زيادة نصف قطر التفرع للعازل (R). أظهرت مقارنة النتائج أنه من أجل قيم منخفضة لمعامل الاحتكاك (μ) يكون هناك انتقال كبير نسبياً في عازل النواس الاحتكاكي، وأن هناك قيمة لمعامل الاحتكاك تكون من أجلها قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق أصغرية.

Dynamic analysis of Seismic Isolated Concrete Buildings by Ball System and Friction Pendulum System

ABSTRACT

this paper aims to study the dynamic Behaviour of Seismic Isolated Concrete Buildings by Ball System and Friction Pendulum System (FPS). Numerical simulations by using Etabs Program technique are performed, then the dynamic response of studied model in both horizontal directions is evaluated under two earthquakes excitations (Loma Prieta and Los Angeles), before and after using these two types of isolators. We also studied the influence of isolator parameters (FPS), such as the radius of curvature of friction pendulum bearings and the friction coefficient on the seismic response of base-isolated buildings under Northridge earthquake.

The dynamic behaviour of the numerical simulation showed a clear reduction of the transmitted force and reduction of maximum absolute floor acceleration as a result of using these two types of base isolation systems. Also, the results indicated that the corresponding top floor absolute acceleration decreases with the increase of the radius of curvature of friction pendulum bearing, and for low values of friction coefficient, there is significant sliding displacement in the FPS. In addition, there also exists a particular value of the friction coefficient of FPS for which the top floor absolute acceleration of the building attains the minimum value.

ﺗﺼﺮﯨﺢ

أﺻﺮﺡ ﺑأن ﻫﺫﺍ ﺍﻟﻌﻤﻞ:

"ﺍﻟﺘﺤﻠﯩﻞ ﺍﻟﺪﯨﻨﺎﻣﯩﻜﯩ ﻟﻼﺑﻨﯩﻴﻪ ﺍﻟﺒﯩﺘﻮﻧﯩﻴﻪ ﺍﻟﻤﺴﻠﺤﻪ ﺍﻟﻤﻌﺰﻭﻟﻪ ﺯﻟﺰﺎﻟﯩﺎ ﺑﺎﺳﺘﺨﺪﺍﻡ ﻧﻈﺎﻣﯩ ﺍﻟﻜﺮﺍﺕ ﺍﻟﻤﻌﺪﻧﯩﻴﻪ
ﻭﺍﻟﻨﻮﺍﺱ ﺍﻟﺤﺘﻜﺎﻛﯩ"

ﻟﻢ ﻳﻘﺪﻡ ﻟﻨﯩﻞ ﺁﯨﻴﻪ ﺷﻬﺎﺩﻩ ﻋﻠﻤﯩﻴﻪ ﺁﺧﺮﯨ ﻭﻟﻢ ﻳﯩﻨﺸﺮ ﺳﺎﺑﻘﺎً ﻓﯩ ﺁﯨﻴﻪ ﻣﺠﻠﻪ ﻋﻠﻤﯩﻴﻪ.

ﺍﻟﻤﺮﺷﺢ

ﻣ. ﻧﺴﺮﯨﻦ ﺑﻬﺠﺖ ﺍﻟﺠﺒﯩﻠﯩ

Declaration

It is hereby declared that this work:

" Dynamic Analysis Of Seismic Isolated Concrete Buildings By Ball System
And Friction Pendulum System "

Has not been accept for any degree, or it is submitted to any scientific
bulletin.

Candidate

Eng. Nisrine Bahjat Aljubayli

شهادة

نشهد بأن العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث قامت به المرشحة نسرين بهجت الجبيلي بإشراف:

- الدكتور المهندس عصام ناصر (المشرف) الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - جامعة تشرين.
- الدكتور المهندس عبد الرحمن السرحان بجبوج (المشرف المساعد) مدرس في قسم الهندسة الإنشائية - جامعة تشرين.

المرشح	المشرف المساعد	الأستاذ المشرف
م. نسرين بهجت الجبيلي	د. عبد الرحمن السرحان بجبوج	أ. د. عصام علي ناصر

Testimony

We certify that declared work in this treatise is result of a scientific research by the candidate Nisrine Bahjat Aljubayli under the supervision of:

- Doctor engineer Issam Nasser, professor at the structural engineering – Tishreen University.
- Doctor engineer Abd Al Rahman Sarhan- Bajbouj, doctor at the structural engineering – Tishreen University.

Candidate	assistant supervisor	professor supervisor
Eng. Nisrine Bahjat Aljubayli	Dr. Eng. Abd Al Rahman Sarhan- Bajbouj	Dr. Eng. Issam Ali Nasser

"التحليل الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً باستخدام نظامي
الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي"

رسالة مقدمة من

المهندسة/ نسرين بهجت الجبيلي

إجازة في الهندسة المدنية- قسم الهندسة الإنشائية- جامعة تشرين 1999

للحصول على

درجة الماجستير في قسم الهندسة الإنشائية

وقد تمت مناقشة الرسالة والموافقة عليها من قبل لجنة الحكم المؤلفة من السادة:

د. عزام كتحدا:

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - جامعة حلب.

د. عصام ناصر:

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - جامعة تشرين.

د. منير الأطرش:

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - جامعة تشرين.

وذلك بتاريخ الثلاثاء 2009/10/13 م.

الأستاذ الدكتور

عزام كتحدا

الأستاذ الدكتور

عصام ناصر

الأستاذ الدكتور

منير الأطرش

المحتوى

1	الفصل الأول: مدخل إلى الهندسة الزلزالية
1-1-1	مقدمة
1-2-1	تعريف الزلزال
1-3-1	أنواع الزلازل
1-4-1	نظرية الصفائح التكتونية
1-5-1	المركز السطحي والمركز الداخلي للزلزال
1-6-1	الموجات الزلزالية
1-7-1	مقاييس حجم الزلزال
1-8-1	الحركات الزلزالية وتضخمها بفعل التأثيرات المحلية
1-9-1	عامل تضخيم الموقع
1-10-1	زلزالية سورية
1-11-1	طرائق التحليل وفق الكودات الزلزالية
1-12-1	التحليل الديناميكي للمنشآت تحت تأثير أحمال الهزات الأرضية
20	الفصل الثاني: أنظمة العزل الزلزالي - خصائصها ومجال استخدامها
1-2-2	مقدمة
2-2-2	مبادئ العزل الزلزالي
2-3-2	الحمولات غير الزلزالية
2-4-2	أنظمة العزل الزلزالي
2-5-2	النمذجة الرياضية للعوازل
2-6-2	اختيار مستوي العزل
2-7-2	لمحة تاريخية عن العزل القاعدي
2-8-2	ديمومة نظام العزل
2-9-2	متى نستخدم العزل
2-10-2	تكلفة العزل القاعدي
2-11-2	كودات التصميم للمنشآت المعزولة زلزالياً
2-12-2	فلسفة تصميم الأبنية المعزولة

48 13-2- إجراءات التحليل وتوصيات IBC2000 بالنسبة للمنشآت المعزولة

52 14-2- الإزاحة الطابقية

54 الفصل الثالث: الدراسات المرجعية حول أنظمة العزل الزلزالي والنتائج التي تم التوصل إليها

54 1-3- مقدمة

54 2-3- الدراسات المرجعية

الفصل الرابع: التحليل الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً بنظامي الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي.

65 1-4- مقدمة

65 2-4- وصف نماذج الأبنية المدروسة

66 3-4- التحليل الديناميكي للأبنية المدروسة

92 4-4- مقارنة بين السلوك الديناميكي للأبنية المعزولة وغير المعزولة زلزالياً

97 5-4- مقارنة بين فعالية نظامي العزل المدروسين تجاه مقادير الاستجابة الديناميكية للأبنية المدروسة

144 5-4- مقارنة بين فعالية نظامي العزل المدروسين تجاه مقادير الاستجابة الديناميكية للأبنية المدروسة

الفصل الخامس: تأثير بعض العوامل الخاصة بنظام العزل على الاستجابة الزلزالية

159 1-5- مقدمة

160 2-5- مقارنة بين استجابة المبنى المعزول بنموذج خطي مكافئ وبنموذج ثنائي الخطية

172 3-5- تأثير معامل الاحتكاك ونصف قطر التقعر على أداء نظام النواس الاحتكاكي

4-5- معايرة قوى القص القاعدي وقيم الانتقالات للنموذج المعزول G وفقاً للكود IBC2000

186 مع الأخذ بعين الاعتبار نماذج الترب المعتمدة في الكود العربي السوري

الفصل السادس: النتائج والتوصيات

191 1-6- النتائج

192 2-6- التوصيات

193 المراجع

الفصل الأول

مدخل إلى الهندسة الزلزالية

Introduction to Earthquake Engineering

1-1- مقدمة: Introduction

تعد الزلازل من أهم وأخطر الكوارث الطبيعية التي تؤثر على الإنسان، فقد ذهب ضحيتها آلاف الأرواح البشرية، كما سببت خسائر مادية كبيرة جراء الانهيارات التي تحدث في المنشآت الهندسية والصناعية، وتتباين الزلازل في درجة قوتها، فمنها الضعيف الذي يحدث ولا يكاد يحس به أحد، والمتوسط الشدة، ومنها العنيف المدمر الذي يسبب خسائر كبيرة في مناطق العمران.

1-2- تعريف الزلزال: Definition of the Earthquake

الزلزال: هو عبارة عن هزة أرضية تصيب القشرة الأرضية، وتنتشر على شكل موجات على مساحات شاسعة منها، حيث تعاني القشرة الأرضية من الحركات الزلزالية بشكل دائم نظراً لعدم استقرار باطن الأرض، إلا أن هذه الهزات المستدامة تكون عادة ضعيفة بحيث لا نشعر بها، إلا من خلال أجهزة الرصد (السيسموغراف) الزلزالي.

إن دراسة الزلازل مهمة بالنسبة لنا، لأنها تتصل اتصالاً مباشراً بحياة الإنسان ونشاطه على وجه الأرض، وقد سجلت الكثير من الزلازل المدمرة على مر العصور التاريخية، حيث أثبتت الدراسات الجيولوجية أن قشرة الأرض تعاني دائماً خلال عمرها من الهزات الزلزالية، كما تشير إلى استمرار حدوث مثل هذه الهزات في المستقبل نظراً للحركة الدائمة للصفائح التكتونية التي تتكون منها هذه القشرة وذلك بفعل تيارات النقل الحراري.

1-3- أنواع الزلازل: Types of Earthquakes

يمكن تقسيم الزلازل بحسب القوى التي تسببها إلى:

1-3-1- الزلازل ذات المنشأ الطبيعي: Natural Induced Earthquakes

يمكن أن ينشأ هذا النوع من الزلازل نتيجة لعدد من الظواهر الطبيعية منها:

1-3-1-1- زلازل بركانية: Volcanic Earthquakes ويرتبط حدوثها بالنشاط

البركاني، واندفاع المواد الصخرية المنصهرة من جوف الأرض إلى سطحها، مثال ذلك ما يصحب ثوران براكين جزر هاواي من زلازل غاية في العنف والقوة، وكذلك ثوران بركان كراكاتافا في

(إندونيسيا) الذي أحدث الكثير من التدمير والتخريب، فقد أدى انفجاره إلى إحداث هزات عنيفة أثارت مياه البحر على شكل أمواج ضخمة أغارت على السهول الواقعة في الجزر القريبة منها فأغرقتها، ودمرت المنازل وشردت العديد من السكان، وأحدثت خسائر فادحة لسكان جزيرتي سومطرة وجاوه والجزر الأخرى المجاورة.

ومع هذا فإن معظم الهزات الزلزالية التي تحدث بسبب النشاط البركاني هي في الواقع هزات محلية لا تؤثر في مساحات كبيرة، كما أن كثيراً من النشاطات البركانية ترافقها هزات ضعيفة.

1-3-1-2- الزلازل الانهيارية: Collapes Earthquakes

تنشأ الزلازل الانهيارية نتيجة لانهار سقوف الكهوف والمغارات الكبيرة، وعادة ما تكون هذه الأنواع من الزلازل صغيرة وذات تأثير محلي بسبب ضآلة الطاقة المتولدة عنها.

1-3-1-3- زلازل تكتونية: Tectonic earthquake

وتحدث في المناطق التي تصيبها الانكسارات وتتعرض للتصدع، وهذا النوع شائع وكثير الحدوث. وهو يتركز بشكل خاص في القشرة السطحية على أعماق تصل إلى 70 كم.

يحدث هذا النوع نتيجة لتحركات في قشرة الأرض وما تحتها، وهناك كثير من الأدلة والشواهد المقنعة تشير إلى أن معظم الهزات الأرضية الرئيسية تحدث نتيجة لضغوط عنيفة فجائية في قشرة الأرض، ينجم عنها تصدع وانتقال الطبقات على طول خطوط انكسارات قديمة كانت موجودة بالفعل.

ففي كاليفورنيا يوجد نطاق انهزامي يمتد مسافة تقرب من ألف كيلو متر، وقد حدثت في مجاله حركة فجائية في عام 1906 سببت زلزالاً عنيفاً أحدث خسائر فادحة، وكانت الحركة أفقية فلم ينجم عنها ظهور حافات انكسارية وإنما سببت انزياح الطرق وأسوار المزارع والحدائق عن مواضعها الأصلية إلى مواقع أخرى على طول خط الانكسار، وقد بلغ مقدار الانزياح الأفقي نحو ستة أمتار.

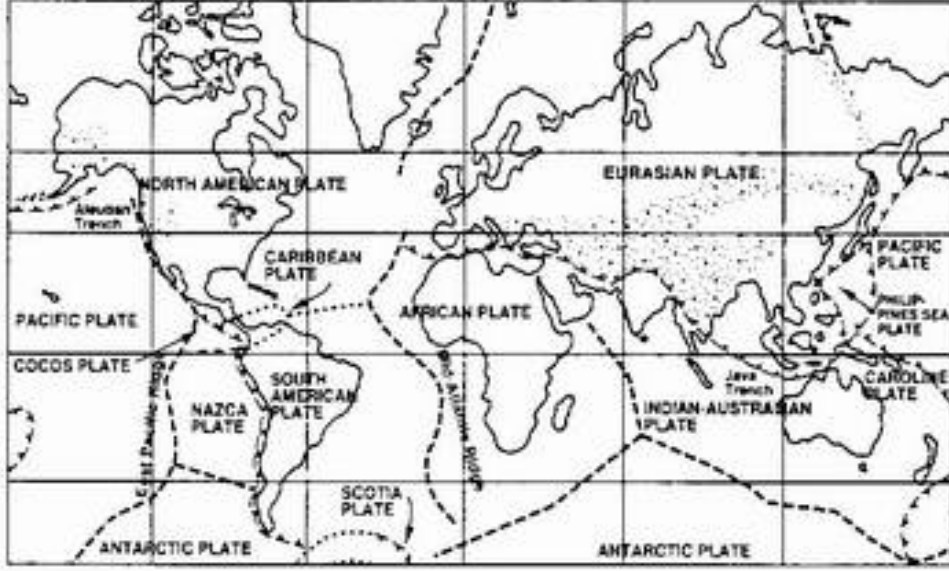
1-3-1-2- الزلازل الناجمة عن النشاط البشري: Man – Made Earthquake

من الممكن أن يؤدي العديد من النشاطات البشرية إلى حدوث الزلازل، وبعض هذه الأنشطة قابل للسيطرة عليه تماماً كالانفجارات (التقليدية أو النووية)، وبعضها الآخر الذي لا يمكن السيطرة عليه كالزلازل الناجمة عن امتلاء السدود بالمياه وعن حقن السائل في بعض أماكن التنقيب أو استخراج النفط من باطن الأرض وغيرها.

1-4-1- نظرية الصفائح التكتونية: Tectonic plates theory

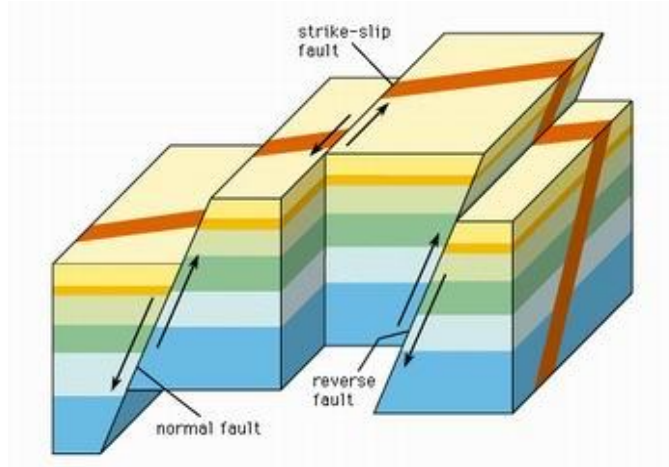
بمقتضى هذه النظرية قسم علماء الجيولوجيا القشرة الأرضية إلى عدة صفائح قارية ومحيطية متجاورة مع بعضها البعض، كما هو مبين في الشكل (1-1) صفائح بأحجام متنوعة كبيرة وصغيرة،

وعملياً يوجد سبع صفائح كبيرة جداً تتألف كل واحدة منها من أجزاء قارية وأخرى محيطية، وهناك أيضاً ما يزيد عن اثنتا عشرة صفيحة صغيرة، والصفائح موضحة على الشكل (1-1). تتراوح سماكة كل صفيحة من 80~100 كلم تقريباً وهي مختلفة السماكة، حيث يسبب الانحناء المرن تشوه الأجزاء الرقيقة.



الشكل (1-1) وضع الصفائح التكتونية

تتحرك هذه الصفائح بسرعة نسبية ثابتة تدنو من 0.13 متر/عام، ومع أن هذه السرعة بطيئة بالمقياس البشري إلا أنها تعد سريعة لحد كبير جيولوجياً، ولتوضيح ذلك فإن السرعة 0.05 متر/عام تشكل 50 كلم خلال مليون سنة فقط، علماً أن بعض حركات الصفائح تستمر لمدة 100 مليون عام. يظهر الشكل الآتي (1-2) أنواع الفوالق الناتجة عن الحركة النسبية لهذه الصفائح وهي إما أن تكون فوالق انزلاقية مضرية Strike-Slip Fault، أو فوالق عادية Fault Normal أو فوالق معكوسة Reverse Fault.



الشكل (1-2) أنواع الفوالق

1-5- المركز السطحي والمركز الداخلي للزلازل :

Epicenter and Hypocenter of the Earthquake

لا تكون قوى الزلازل واحدة على سطح الأرض ،وهي تبلغ ذروتها عند نقطة على سطح الأرض تسمى بالمركز السطحي (Epicenter)، وتقع أسفل هذه النقطة باتجاه عمودي نقطة أخرى على سطح الصدع التي يبدأ عندها انهيار الصخور، وتسمى ببؤرة الزلازل (Hypocenter, Focus)، وفيه تنشأ ذبذبات تموجية تصل في اتجاه رأسي إلى المركز السطحي، كما تنتشر في اتجاهات متباينة أخرى إلى جميع أجزاء جسم الأرض.

1-6- الموجات الزلزالية: Earthquake Waves

عندما تنهار الصخور في البؤرة تتطلق منها طاقة اهتزاز تؤدي إلى تكوين ذبذبات قوية في الصخور، تسري فيها على شكل موجات تكون عنيفة عند المركز السطحي للزلازل وتضعف كلما بعدت عنه. وتقوم أجهزة خاصة بتسجيل تلك الموجات على اختلاف قوتها ونوعها .

1-6-1- الموجات الباطنية (Body Waves): وهي أمواج تنتشر في باطن الأرض انطلاقاً من مركز الزلازل الجوفي، ويمكن تصنيفها إلى نوعين:

- الأمواج الرئيسية (Primary or P-Wave): يمكن اعتبار هذا النوع من الأمواج من أسرع الموجات الزلزالية حيث تبلغ سرعتها 5km/sec ويكون اهتزاز الوسط مواز لمسار انتشار الموجة، مما يؤدي إلى حدوث تناوب بين تشوهات الشد والضغط، ويمكنها النفاذ عبر المناطق السائلة والمنصهرة من طبقات الأرض، وبالتالي النفاذ من قطب إلى قطب مخترقة باطن الأرض بكامله.

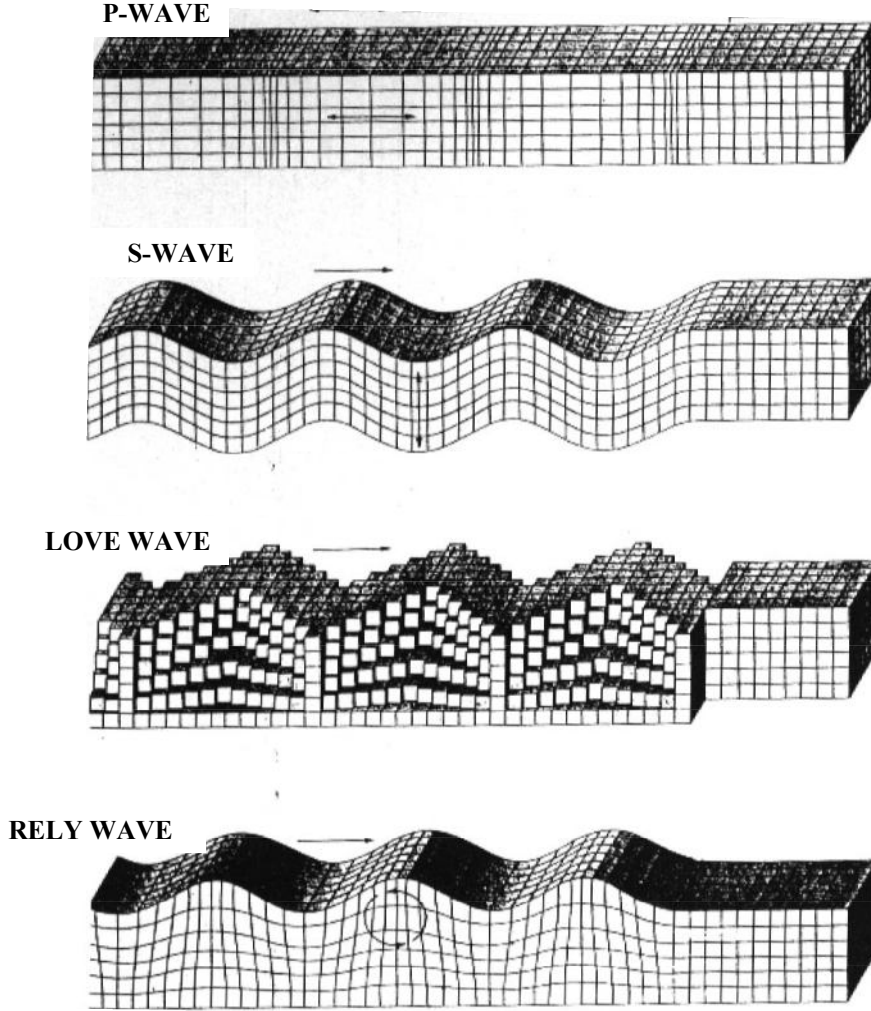
- الأمواج الثانوية (Secondary or S-Wave): تتميز هذه الأنواع بأن حركة اهتزاز نقاط الوسط تكون باتجاه عمودي على مسار انتشار الموجة مسببة تشوهات قص وتبلغ سرعة انتشارها حوالي 3km/sec وهي لا تستطيع الانتقال عبر السوائل والموائع بخلاف موجات الضغط ولا تستطيع اختراق غلاف النواة الخارجي للأرض.

1-6-2- الأمواج السطحية: تتولد هذه الموجات لدى اصطدام الأمواج الباطنية بسطح الأرض

ويمكننا تمييز نوعين منها:

- أمواج لوف (LOVE Wave): تتميز هذه الأمواج بأن حركة اهتزاز الوسط تكون جيبيية وباتجاهين متعامدين على مسار انتشار الموجة .

- أمواج ريلي (RELY Wave): تكون حركة اهتزاز الوسط في هذا النوع من الموجات بشكل اهليلجي وبمستوي عمودي على مسار انتشار الموجة. يبين الشكل (1-3) أنواع الموجات الزلزالية.



الشكل (1-3) الأنواع الرئيسية للأمواج الزلزالية [4]

7-1- مقاييس حجم الزلزال: Measures Of Earthquakes Size

إن السمة الأكثر أهمية لدى مهندسي الزلازل، هي الآثار التي تحدثها الهزات الأرضية الزلزالية في المنشآت، بمعنى آخر الإجهادات والتشوهات أو مقدار الضرر الحاصل فيها. بالطبع، إمكانية الضرر هذه مرتبطة جزئياً على الأقل، بحجم الزلزال وبعدد المقادير الحجمية المستخدمة لأسباب أخرى. المقدار الحجمي الأكثر أهمية من وجهة النظر الزلزالية هو كمية الطاقة المتحررة في البؤرة، وهو قياس كمي يسمى بـ "مقياس كمي" أو قدر الزلزال (Magnitude). ولقد وضع ريختر مقياساً لهذا الغرض سمي بقدر ريختر (Richter Magnitude)، ويعرف بأنه اللوغاريتم العشري لسعة موجة الزلزال مقدرة بالميكرون (10^{-6} m)، والمسجلة على جهاز رسم الزلازل (سيسموغراف)

لوود- وأندرسون (Wood-Anderson) المركب على بعد 100km من المركز السطحي للزلزال. يرتبط تقييم هذا القدر بشكل تجريبي بمقدار طاقة الزلزال المتحررة E وفق العلاقة الآتية[4]:

$$\log E = 11.8 + 1.5M \quad (1-1)$$

حيث M هي كبر أو قدر الزلزال. يتضح من هذه العلاقة أنّ الطاقة تزداد بمقدار 32 مرة من أجل كل زيادة واحدة لقدر الزلزال، والملاحظة التجريبية الأكثر أهمية للمهندسين هي أن الزلازل التي كبرها أو قدرها أقل من 5 لا يتوقع لها أن تسبب ضرراً في المنشآت بينما الزلازل التي لها $M > 5$ هي التي تسبب هذا الضرر. إنّ كبر الزلزال وحده ليس كافياً للإشارة إلى إمكانية توقع حدوث الضرر الإنشائي، فبعد المنشأ عن بؤرة الزلزال له أهمية التأثير على سعة الاستجابة ذاتها. إنّ خطورة الحركات الأرضية المسجلة عند أية نقطة تسمى بشدة الزلزال (Earthquake Intensity)، وهي تتناقص مع المسافة عن مصدر الزلزال. لقياس هذه الشدة استخدم مقياس ميركالي المعدل MM وهو مقياس تتراوح قيمه بين I و XII، حيث تصف القيم المتدنية بساطة، أو عدم حدوث ضرر في حين تعبر القيم المرتفعة عن أضرارٍ بالغة.

1-8- الحركات الزلزالية وتضخمها بفعل التأثيرات المحلية:

Ground Motions and their Amplification Due To Site Effects

اهتم مهندسو الزلازل في المراحل الأولى من تطور علم الهندسة الزلزالية وبشكل أساسي باستنباط طرق تحليلية لتحديد الاستجابة الزلزالية للمنشآت وتصميم تلك المنشآت لتقاوم الزلازل المتوقعة في المنطقة، وكانت تلك الطرق تهتم في المقام الأول بصفات المنشآت المختلفة وسلوكه الخطي واللاخطي خلال خضوعه للفعل الزلزالي، إلا أن المشاهدات الحقلية كانت تدل على سلوك متباين لمنشآت مماثلة بفعل الزلازل، الأمر الذي دفع مهندسي الزلازل لاستقصاء مختلف العوامل والتي يمكن أن تؤثر على خواص الحركات الزلزالية والأضرار الناتجة عنها. وحالياً، أصبح معروفاً بأن التأثيرات المختلفة للزلازل، ونمط توزيعها في المنطقة المنكوبة تعتمد على عدة عوامل من أهمها خواص المصدر الزلزالي، وصفات المسارات التي تسلكها الموجات الزلزالية الباطنية والسطحية انطلاقاً من بؤرة الزلزال ووصولاً إلى الأماكن المتضررة في المنطقة، وكذلك تأثير صفات الموقع وطبيعة التربة، إضافة إلى خواص المنشآت المختلفة.

1-8-1- تأثير المصدر الزلزالي : Influence of Earthquake Source

تنتشر الطاقة الزلزالية الناتجة عن تفلق طبقات الأرض من مركز الزلزال الجوفي (Hypocenter) على شكل أمواج باطنية (P-Wave) و (S-Wave) والأمواج

السطحية (ريلبي، LR-Wave) و(لوف، LQ-Wave). وعادة لا تنتزع هذه الطاقة بشكلٍ متساوٍ بين الأنواع المختلفة للموجات الزلزالية وإنما يتعلق توزيعها بعمق بؤرة الزلزال، ففي حالة الزلازل السطحية (هي الزلازل التي لا يتجاوز عمق بؤرة الزلزال فيها عدة كيلومترات) تنتشر الطاقة بواسطة الموجات السطحية أما في حالة الزلازل العميقة (الزلازل التي يصل عمق بؤرة الزلزال إلى عشرات الكيلومترات وأكثر) فإن انتشارها يتم بشكل رئيسي بواسطة الموجات الباطنية. ونظراً لكون انتشار الأمواج الباطنية أسرع من انتشار الموجات السطحية فإن وصول هذه الأمواج يتم تباعاً إلى مناطق الانتشار حيث تصل أولاً الأمواج (P-Wave) ومن ثم (S-Wave) ثم يبدأ تأثير الأمواج السطحية وبما أن الأمواج الباطنية تكون ذات سرعة وتواتر كبيرين (تواتر أكبر من 1 هرتز)، فإنها تسبب بشكل أساسي اهتزاز للمنشآت القليلة الارتفاع وذات أدوار الاهتزاز الصغيرة ($T \leq 1\text{sec}$). ونظراً لكون سرعة وتواتر الأمواج السطحية قليل نسبياً، فإن هذه الأمواج تكون فعالة في تحريك المنشآت ذات أدوار الاهتزاز الكبيرة $T \geq 1\text{sec}$ ويتم عادة أخذ تأثيرات مختلف الأمواج الزلزالية عند دراسة الخطر الزلزالي على المنشآت الواقعة في المناطق النشطة زلزالياً، إلا أن صفات بعض المنشآت تلعب دوراً أساسياً في انتقاء تأثيرات الأمواج الزلزالية المختلفة فعلى سبيل المثال يتم إهمال تأثير الأمواج السطحية عند الدراسة الزلزالية لمحطات الطاقة النووية ذات أدوار الاهتزاز الصغيرة عادة.

1-8-2- تأثير مسار الانتشار الزلزالي: Influence of Seismic Propagated path

يلعب مسار انتشار الأمواج الزلزالية دوراً هاماً في تخفيض قيم السعات العظمى للأمواج ذات الأدوار الصغيرة (الأمواج الباطنية) بشكل أكبر منه في حال الأمواج ذات الأدوار الطويلة (الأمواج السطحية)، وهذا يعني أن الأمواج الزلزالية المسيطرة في الأماكن البعيدة عن المركز الزلزالي هي الأمواج السطحية، بينما تكون الأمواج الباطنية هي الأمواج المسيطرة عادة في الأماكن القريبة من مراكز الزلازل، وبما أن مراكز الزلازل ترتبط عادة بأماكن توضع الفوالق، يمكننا أن نستنتج أنه من الأفضل إقامة المنشآت ذات الأدوار الكبيرة للاهتزاز في الأماكن القريبة من الفوالق الزلزالية والمنشآت ذات أدوار الاهتزاز المنخفضة في الأماكن البعيدة عن الفالق الزلزالي والتي تتصف بسيطرة الموجات السطحية الزلزالية.

1-8-3- تأثير صفات الموقع: Influence of Site Properties

تؤثر تربة الموقع وبشكل كبير في خواص الحركات الزلزالية المنتقلة عبرها وصولاً إلى المنشأ، حيث تعمل تلك التربة كمرشح ومضخم للموجات الزلزالية، من خلال زيادة القيم

العظمى وتعديل طور بعض تواترات الأمواج الزلزالية، وتخمين بقية التواترات الموجودة ضمن الأمواج الزلزالية، وتكون الحالة الأسوأ عندما يتساوى الدور المسيطر لاهتزاز تربة الموقع مع دور اهتزاز المنشأ المقام على تلك التربة، حيث تحدث ما تسمى بظاهرة الطنين (Resonance). ويمكن حساب الدور المسيطر لاهتزاز تربة الموقع من خلال العلاقة [2]:

$$T_s = \frac{4H}{RV_s} \quad (1-2)$$

حيث: T_s : دور اهتزاز تربة الموقع

H : سماكة طبقة التربة فوق الطبقة الصخرية الأساسية (m).

R : عامل تجريبي يؤخذ من الجدول (1-1)

V_s : سرعة انتشار أمواج القص (m/sec) الجدول (1-2).

الجدول (1-1) قيمة العامل R

R	قيمة العامل	التسارع الأرضي الأعظمي الموافق	درجة الزلزال (ريختر)
0.9		0.1g	6
0.8		0.2g	6
0.67		0.3g - 0.4g	7

الجدول (1-2) سرعة موجات القص في تربة مختلفة

سماكة الطبقة (M)			نوع المادة
أكبر من 50M	(21-50)M	(3-20)M	
-	-	60	تربة رملية مفككة ومشبعة
125	100	60	رمل نهري
300	200	60	تربة غضارية
-	250	100	غضار رملي
600	300	100	حصويات مفككة
-	-	110	رمل ناعم ومشبع
-	200	150	تربة طينية
-	-	160	رمل مرصوص

تابع للجدول (1-2)

سماكة الطبقة (M)			نوع المادة
أكبر من 50M	(21-50)M	(3-20)M	
-	-	420	حصويات صغيرة مرصوصة
-	330	-	حصويات متوسطة الحجم
-	-	200	رمل غضاري وحصويات
780	-	-	حجر رملي
2200	-	-	خرسانة
2700	-	-	غرانيت
3340	-	-	حجر كلسي

وفي حال عدم وضوح الفاصل بين تربة الموقع والقاعدة الصخرية يتوجب أخذ H لغاية الطبقة التي تكون فيها سرعات أمواج القص مساوية ($V_s=765\text{m/sec}$)، وفي بعض الحالات يطلب لحظ السماكة لغاية الطبقة الموافقة لسرعة أمواج القص ($V_s=3600\text{m/sec}$) وفي حالة كون تربة الموقع مؤلفة من عدة طبقات ذات ترب مختلفة فيمكن استخدام قيمة وسطى لسرعة موجات القص تؤخذ من العلاقة الآتية [2].

$$V_s = \frac{\sum H_i V_{si}}{H} \quad (1-3)$$

حيث: V_{si} : سرعة أمواج القص في الطبقة.

H_i : سماكة الطبقة i.

H: السماكة الكلية لتربة الموقع فوق القاعدة الصخرية.

هذا ويقسم دور التربة المسيطر إلى ثلاثة مجموعات رئيسة كما يلي:

أ- دور قصير: $T_s = (0.05 - 0.5)\text{sec}$

ب- دور متوسط: $T_s = (0.5 - 3)\text{sec}$

ج- دور طويل: $T_s = (3 - 10)\text{sec}$

9-1 - عامل تضخيم الموقع: Site Amplification Factor

يتم استخدام عامل تضخيم الموقع لتحديد دور الاهتزاز المسيطر في الموقع، ويعتمد عامل تضخيم الموقع على عدة عوامل، منها:

أ- مستوى انفعال القص الديناميكي لترتبة الموقع γ_{sd} : الذي يعطى وفق العلاقة التجريبية التالية [2]:

$$\gamma_{sd} = V_{\max} / V_s \quad (1-4)$$

حيث: V_{\max} : أكبر سرعة انتقال تم تسجيلها في الموقع خلال زلزال محدد.

V_s : سرعة أمواج القص في طبقة التربة في الموقع.

ونتيجة القياسات للعديد من الزلازل الشهيرة، بلغت أكبر قيمة لمستوى القص الديناميكي %0.5.

ب- سرعة موجات القص في الموقع: تتعلق سرعة أمواج القص بنوعية التربة وسماكتها. ويمكن

الاستعانة بالجدول (1-2) لتحديد سرعة أمواج القص في العديد من المواد.

ت- كثافة التربة: يتعلق هذا العامل بنوعية التربة والتدرج الحبي ضمنها. ويبيّن الجدول (1-3)

كثافة التربة لعدة أنواع مختلفة من الترب.

الجدول (1-3) كثافة الأنواع المختلفة من ترب الموقع $[\rho = Mg / m^3 = 10^6 g / m^3]$

تدرج حبي جيد		تدرج حبي سيء		نوع التربة
القيمة النموذجية	الحدود	القيمة النموذجية	الحدود	
1.85	1.75-2	1.75	1.7-1.9	رمل مفكك
2.1	2-2.2	2	1.9-2.1	رمل مرصوص
1.75	1.6-1.9	1.75	1.6-1.9	غضار طري
2.07	1.9-2.25	2.07	1.9-2.25	غضار قاسي
1.75	1.6-2	1.75	1.6-2	تربة طمي
2.15	2-2.3	2.07	1.9-2.25	تربة حصوية

ج- عامل تخميد التربة: هذا العامل يصعب تحديده بالقياس المباشر في الموقع، ويتم عادة تحديده من خلال التجارب المخبرية.

ح- سماكة التربة في الموقع: تؤدي زيادة سماكة التربة فوق القاعدة الصخرية إلى زيادة الاهتزاز المسيطر لترتبة الموقع.

خ- مستوى المياه الجوفية في المنطقة: تؤثر المياه الجوفية في المنطقة على سرعة انتقال موجات القص والتي تؤثر بدورها على دور الاهتزاز المسيطر لترتبة الموقع.

د- الشكل الهندسي للتربة والقاعدة الصخرية: يؤثر الشكل الهندسي للتربة والقاعدة الصخرية على تبعثر وانكسار الأمواج الزلزالية في المنطقة، والذي يؤثر بدوره على شكل اهتزاز التربة والدور المسيطر لها.

ذ- أنواع الموجات الزلزالية المحرصة للموقع: تؤثر الموجات الزلزالية في الموقع على دور التربة المسيطر في الموقع وذلك تبعاً لتفاوت سرعات وتواتر مختلف الأمواج الزلزالية كالأمواج الباطنية والسطحية بأنواعها المختلفة.

يتم عادة تعيين عامل تضخيم الموقع من خلال تحديد سجل اهتزاز القاعدة الصخرية والذي يعتبر كمحرض لاهتزاز أسفل تربة الموقع، ومن ثم يتم تسجيل اهتزاز السطح الحر لتربة الموقع والذي يسمى الاهتزاز الخارج، ويتم الحصول على عامل التضخيم من خلال تقسيم سجل الاهتزاز الخارج من تربة الموقع على سجل الاهتزاز الداخل إليها. أما في حال عدم توفر سجلات زلزالية حقلية للسطح الحر فيلجأ إلى استخدام برامج حاسوبية خاصة تأخذ بالاعتبار الاهتزاز المسجل للقاعدة الصخرية وخواص طبقات التربة في الموقع، وتعطي قيم عامل تضخيم الموقع في أماكن حقلية مختارة وفق متطلبات تصميم المنشآت في ذلك الموقع، ويظهر الجدول (1-4) قيم تضخيم الحركات الزلزالية مقاسة وفق مقياس ميركالي المعدل، وذلك تبعاً لنوعية تربة الموقع، علماً بأن هذه القيم تمثل حالات بسيطة من حالات التضخيم، وأن الحالات الأكثر تعقيداً تحتاج إلى إجراء الدراسات الحقلية والمكتبية المنوه عنها أعلاه.

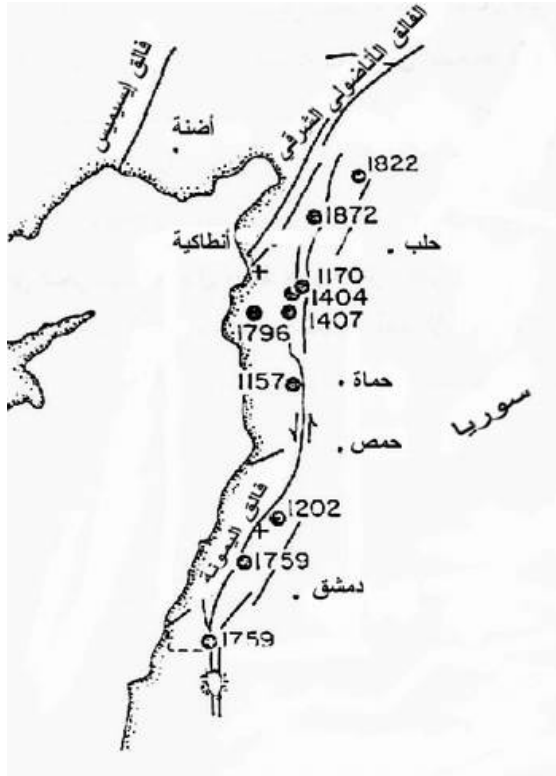
الجدول (1-4) تغير شدة الزلزال (وفق مقياس ميركالي) تبعاً لنوعية تربة الموقع.

معدل التغير في الشدة	نوعية التربة
0	قاعدة صخرية
+1	ردميات قاسية
+2	ردميات متوسطة القساوة
+2.5	ردميات مشبعة
+3	ردميات مخلخلة أو حديثة

10-1 - زلزالية سورية: Syria Seismic

تعتبر منطقة بلاد الشام (سوريا الطبيعية) ومصر من أكثر مناطق العالم التي حظيت بتدوين الفعالية الزلزالية نظراً لاستيطانها بشكل متواصل من قبل الإنسان منذ أزل بعيد، و توجد العديد من المخطوطات التي سجلت زلازل المنطقة، ومن هذه المخطوطات مخطوطة العلامة جلال الدين السيوطي "كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة" و مخطوطة ياسين العمري "الآثار الجلييلة في الحوادث الأرضية" عام 1793.

يظهر على الشكل (1-4) توزيع بعض الزلازل على الخارطة السورية، كما يظهر أهم الفوالق في منطقة سورية.



الشكل(1-4) أهم الزلازل وأهم الفوالق في منطقة سورية

لم تشهد سوريا منذ أكثر 25 عاماً ماضياً زلازل مدمرة، و الزلازل التي تعرضت لها هي في معظمها زلازل خفيفة إلى متوسطة. بينما شهدت المناطق المجاورة لسوريا عدداً من الزلازل القوية تركزت معظمها في منطقة خليج العقبة (أشهرها زلزال القاهرة 1992 و زلزال العقبة عام 1995) ووسط تركيا (أشهرها زلزال إزميت 1999) وجنوب غرب تركيا-اليونان (أشهرها زلزال دینار 1995 و زلزال أثينا 1999)، وقد شعر ببعض هذه الزلازل في سوريا، وتصنف زلازل المنطقة ضمن الزلازل القليلة العمق.

نورد في الجدول(1-5) أهم الزلازل التي حدثت في بلاد الشام في الفترة (1100-1988).

الجدول(1-5) زلازل شهيرة حدثت في بلاد الشام(1100-1988)

مكان الزلزال	التاريخ	درجة الزلزال المقدرة (M_s) وفق مقياس ريختر
حماء	15/8/1157	أكبر من 7
إدلب	29/6/1170	أكبر من 7
بعلبك	20/5/1202	7.5
بالقرب من حلب	22/2/1404	كبيرة
منطقة العاصي	29/4/1407	~7
البقاع الجنوبي	30/10/1759	6.6
سهل البقاع	25/11/1759	7.4
اللاذقية	26/4/1796	6.6
عفرين	13/8/1822	7.4
بالقرب من حلب	3/4/1872	7.2

11-1 - طرائق التحليل وفق الكودات الزلزالية:

Methods Of Analysis According to Seismic Codes

تسعى الكودات الزلزالية الحديثة إلى تضمين طرق الحساب البسيطة نسبياً، بأحدث تقدم تقني تم التوصل إليه في مجال التصميم المقاوم للزلازل. إن فلسفة تصميم الأبنية المقاومة للزلازل تستند على مبادئ يجب أن يتحقق معها:

- مقاومة الزلازل الثانوية دون حدوث أضرار.
 - مقاومة الزلازل المعتدلة دون حدوث ضرر في الجملة الإنشائية مع قبول بعض الأضرار المحتملة في العناصر غير الإنشائية .
 - مقاومة الزلازل المتوسطة مع احتمال حدوث الأضرار الإنشائية وغير الإنشائية من دون أن تسبب انهياراً للمنشأ.
- حيث تجري بعض التعديلات على مبادئ التصميم هذه لتمييز الأبنية ذات الوظائف الحيوية، كي تبقى في الخدمة في حال حدوث زلازل شدتها أكبر مما هو متوقع.

إنّ مقدار حمولة الزلزال هي نتيجة للاستجابة الديناميكية للبناء على الهزة الأرضية. ولتقييم الحمولة الزلزالية التصميمية، توجد طريقتان شائعتان تأخذان بالاعتبار خصائص المنشأ والسجل الزمني للزلازل في المنطقة هما:

• طريقة القوى الجانبية الستاتيكية المكافئة:

تعتمد هذه الطريقة في تحديد القص القاعدي الأعظمي، على تقدير مبسط للدور الأساسي للمنشأ وللتسارع الأرضي الأعظمي المتوقع الحدوث مع العوامل الأخرى ذات الصلة. ويتم توزيع قوة القص المحسوبة على كامل ارتفاع البناء، كقوى أفقية مركزة عند مناسيب الطوابق بحيث تسمح بإمكانية التحليل الستاتيكي للمنشأ.

إنّ القوى التصميمية المستخدمة في التحليل الستاتيكي المكافئ هي أقل من القوى الفعلية المفروضة على البناء بفعل الزلزال. وإن مرر استخدام هذه القوى في التصميم، عائد للمقاومة الاحتياطية التي يبديها المنشأ، لإمكانية التخميد ولتخفيض القوى نتيجة مطاوعة المنشأ (Ductility). هذه الطريقة بسيطة وسريعة وينصح بتطبيقها على الأبنية المنتظمة الشكل وذات نوزع منتظم للكتلة والصلابة.

• طرق التحليل الديناميكي (Dynamic Analysis) وتستخدم في تحليل كافة المنشآت غير المنتظمة سواء في الشكل أو في الصلابة الشاقولية والأفقية وفي توزيع الكتل ضمنها. إن التحليل وفق هذه الطرق أعقد نسبياً مما هو عليه في طريقة القوى الستاتيكية المكافئة إلا أنه أكثر دقة، مع إمكانية الحساب التقريبي للسلوك اللاخطي للمنشأ. نذكر من هذه الطرق، طريقة السجل الزمني وطريقة أطيف الاستجابة.

12-1- التحليل الديناميكي للمنشآت تحت تأثير أحمال الهزات الأرضية:

The Dynamic Analysis of The Structures Subjected To Earthquake Loads

يعود السبب الرئيسي للأضرار التي تتعرض لها المنشآت أثناء الهزات الأرضية إلى استجابتها لحركة الأرض تحت أساساتها. من أجل تقييم سلوك المنشآت تحت تأثير هذا النوع من الأحمال لا بد من تطبيق مبادئ ديناميك المنشآت لتحديد الانتقالات والإجهادات التي يتعرض لها المنشأ. وبما أنّ الأحمال الديناميكية تابع للزمن فإن سلوك المنشأ سيكون تابعاً للزمن أيضاً مما يؤدي إلى مجموعة غير منتهية من الحلول خلال المجال الزمني المدروس، ولكن من الناحية الهندسية، تعتبر القيم العظمى لاستجابة المنشأ ذات أهمية عملية كبيرة لحالة التصميم.

1-12-1- استجابة الجمل المرنة وحيدة درجة الحرية للهزات الأرضية:

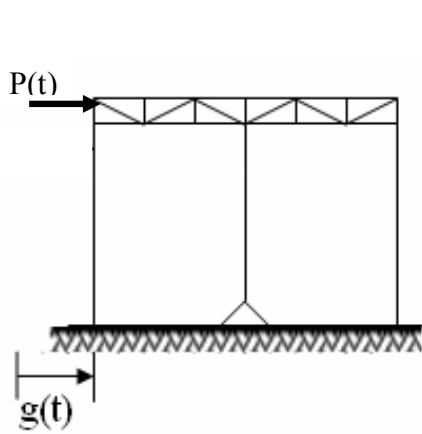
يمثل المنشأ ذو الطابق الواحد المبين في الشكل (1-5-a) أبسط المنشآت التي يمكن تحليلها ديناميكياً باستخدام درجة حرية واحدة ممثلة بالانتقال الجانبي عند السطح، ويمكن نمذجة المنشأ كما في الشكل (1-5-b) بافتراض أن كتلة المنشأ مركزة عند مستوى السطح الذي يعتبر صلباً وأن التشوهات المحورية في الأعمدة مهملة.

بأخذ معادلة توازن القوى المطبقة على الجسم الطليق المبين في الشكل (1-5-c) تنتج معادلة التوازن الديناميكي الآتية [1]:

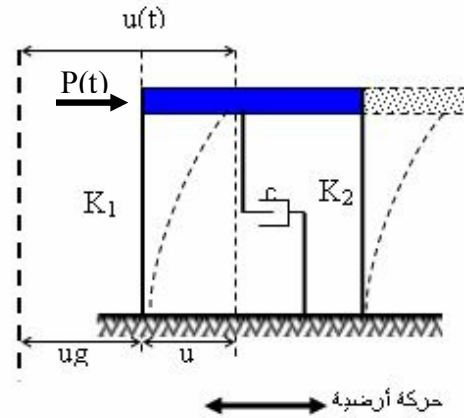
$$f_i + f_d + f_s = P(t) \quad (1-5)$$

حيث: $f_i = m\ddot{u}(t)$ تمثل قوة العطالة، $f_d = c\dot{u}$ تمثل قوة التخماد، $f_s = ku$ تمثل قوة الإرجاع المرن، $P(t)$ تمثل القوة المطبقة.

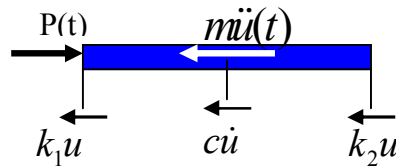
يمثل $\ddot{u}(t)$ التسارع المطلق للكتلة و u و \dot{u} يمثلان انتقال الكتلة وسرعتها بالنسبة للقاعدة. و m و c تمثل الصلابة والكتلة ومعامل التخماد على الترتيب.



(a) إطار مؤلف من طابق واحد



(b) نظام بدرجة حرية واحدة معرض لحركة زلزالية



(c) مخطط الجسم الحر

الشكل (1-5) منشأ مؤلف من درجة حرية واحدة معرض لحركة أرضية [1]

بتبديل المعطيات السابقة في المعادلة (1-5) تصبح كما يلي [1]:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u} + ku = P(t) \quad (1-6)$$

يمكن كتابة التسارع الكلي للكتلة $\ddot{u}(t)$ بدلالة تسارع القاعدة كما يلي [1]:

$$u(t) = g(t) + u \quad (1-7)$$

$$\ddot{u}(t) = \ddot{g}(t) + \ddot{u}$$

حيث \ddot{u} يمثل تسارع الكتلة بالنسبة للقاعدة ويمثل $\ddot{g}(t)$ تسارع القاعدة. عندما يتعرض المنشأ لهزة أرضية فقط فإن $P(t) = 0$ وتصبح المعادلة (1-6) كما يلي:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P_e(t) \quad (1-8)$$

حيث: $P_e(t) = -m\ddot{g}(t)$ تمثل قوة فعالة تابعة للزمن.

باعتبار أن القوة تابع للزمن تكون الاستجابة تابع للزمن أيضاً، وبالتالي يجب أن تتحقق هذه المعادلة في أي لحظة من زمن الاستجابة.

لإيجاد استجابة جملة وحيدة درجة الحرية لحمل نبضي قصير الأمد كالمبين في الشكل (1-6) يمكن اعتبار تأثير الحمل النبضي كتغير في سرعة الجملة وذلك من خلال تطبيق مبدأ كمية الحركة على أن الدفع يساوي تغير كمية الحركة وعليه يمكن كتابة المعادلة [1]:

$$\dot{u}(t) = \frac{1}{m} \int_0^t p(t) d(t) \quad (1-9)$$

بعد انتهاء فترة تطبيق الحمل ستقوم الجملة بمرحلة اهتزاز حر شروطها الابتدائية:

$$\dot{u}(t_1) = \frac{1}{m} \int_0^{t_1} p(t) d(t) \quad , \quad u(t_1) \cong 0$$

تعطى علاقة الاستجابة الحرة لاهتزاز جملة وحيدة درجة الحرية غير المخمدة بالشكل الآتي [1,4]:

$$u = u_0 \cos \omega t + \left(\frac{\dot{u}_0}{\omega} \right) \sin \omega t \quad (1-10)$$

نحصل على معادلة الاهتزاز الحر للجمال غير المخمدة بتعويض هذين الشرطين الابتدائيين في المعادلة (1-10) فينتج:

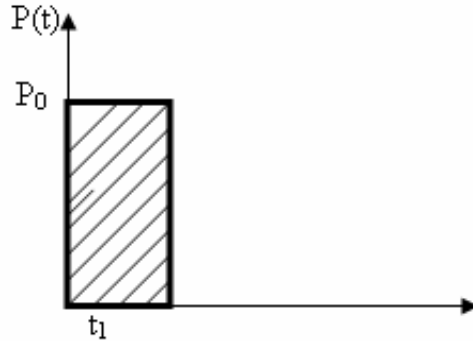
$$u(t - t_1) = \frac{1}{m\omega} \int_0^{t_1} p(t) dt \sin \omega(t - t_1) \quad (1-11)$$

تكتب علاقة الاستجابة الحرة لاهتزاز جملة وحيدة درجة الحرية ذات تخميد لزج بالشكل التالي:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega t} \left[u_0 \cos \omega_d t + \left(\frac{\dot{u}_0 + \zeta\omega u_0}{\omega_d} \right) \sin \omega_d t \right] \quad (1-12)$$

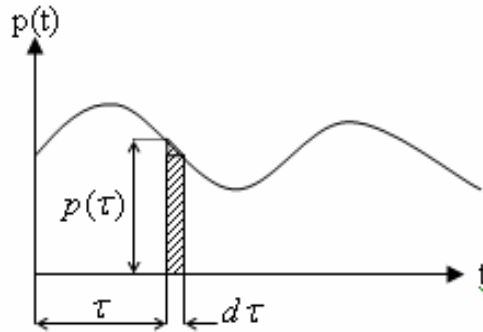
وإذا عوضنا الشرطين الابتدائيين في المعادلة (1-12) نحصل على معادلة الاهتزاز الحر للجمل
المخمدة:

$$u(t-t_1) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^{t_1} p(t) dt e^{-\zeta\omega(t-t_1)} \sin \omega_d(t-t_1) \quad (1-13)$$



الشكل (1-6) حمل نبضي قصير الأمد [1]

باعتبار أن أي حمل ديناميكي يمكن تمثيله بمجموعة من الأحمال النبضية المتتالية كما هو مبين
في الشكل (1-7) فيمكن إيجاد استجابة جملة لتأثير حمل ديناميكي عام كما يلي:



الشكل (1-7) استجابة لحمل نبضي [1]

لنعتبر واحداً من هذه الأحمال النبضية الذي يبدأ عند الزمن τ ويستمر فترة زمنية مقدارها $d\tau$
فتكون القوة التي تتعرض لها الجملة نتيجة لهذا الحمل النبضي $p(\tau)d\tau$ ويكون مقدار الاستجابة
التفاضلية الناتجة كالآتي [1]:

$$du(\tau) = \frac{p(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau}{m\omega} \quad (1-14)$$

نحصل على الاستجابة الكاملة للجملة بإضافة الاستجابات التفاضلية الناجمة عن الأحمال النبضية
المتعاقبة وعليه ستكون الاستجابة الكاملة كما في المعادلة الآتية [1]:

$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau \quad (1-15)$$

أما إذا كانت الجملة ذات تخميد فتكون معادلة الاستجابة كما يلي [1,4]:

$$u(t) = \frac{\int_0^t p(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau}{m\omega_d} \quad (1-16)$$

تسمى المعادلتين السابقتين بتكامل ديوهامل.

1-1-12-1- طريقة السجل الزمني:

يمكن الحصول على الاستجابة لحمل الهزة الأرضية مباشرة باستبدال الحمل $p(\tau)$ في المعادلة

(1-16) بالحمل الفعال للهزة $p_e(\tau) = m\ddot{g}(\tau)$ فينتج [1]:

$$u(t) = \frac{U(t)}{\omega} \quad (1-17)$$

حيث يمثل معامل الاستجابة $U(t)$ السرعة ويعطى بالعلاقة [1,4]:

$$U(t) = \int_0^t \ddot{g}(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (1-18)$$

يمكن الآن الحصول على انتقال المنشأ في أي لحظة خلال سجل الهزة الأرضية وذلك باستخدام العلاقة (1-18). ومن المفيد التعبير عن القوى التي تتولد في المنشأ خلال الهزة الأرضية بدلالة قوى العطالة. وكما أسلفنا فإن قوة العطالة تساوي جداء الكتلة بالتسارع الكلي وباستخدام معادلة التوازن الديناميكي (1-18) ومع اعتبار القوة الخارجية معدومة ينتج [1]:

$$\ddot{u}(t) = -\frac{c}{m}\dot{u}(t) - \frac{k}{m}u(t) \quad (1-19)$$

بإهمال حد التخميد في المعادلة السابقة نظراً لمساهمته الطفيفة في عملية التوازن ينتج:

$$\ddot{u}(t) = -\omega^2 u(t) \quad (1-20)$$

وعليه فإن القص القاعدي لمنشأ مؤلف من طابق واحد (يساوي ويعاكس بالجهة قوة العطالة) في أي لحظة من الزمن خلال سجل الهزة الأرضية ويعطى بالعلاقة الآتية [1]:

$$Q(t) = m\omega^2 u(t) \quad (1-21)$$

ويحدد عزم الانقلاب المطبق على قاعدة المنشأ بضرب قوة العطالة بارتفاع المنشأ [1].

$$M(t) = hm\omega^2 u(t) \quad (1-22)$$

1-12-1-2- طريقة أطياف الاستجابة

يتضح مما سبق أن حساب الانتقالات والقوى في كل لحظة من سجل الهزة الأرضية يتطلب جهوداً كبيرة حتى لأبسط الجمل الإنشائية، ولهذا من أجل أغلب المسائل العملية وخاصة ما يتعلق بالتصميم الإنشائي، فإن القيم العظمى لعناصر الاستجابة مطلوبة فقط. فالقيمة العظمى للانتقال المحدد بالعلاقة (1-17) يسمى بالانتقال الطيفي *Spectral displacement* ويعطى بالعلاقة [1,4]:

$$S_d = u(t)_{\max} \quad (1-23)$$

بتعويض هذه العلاقة في العلاقتين (1-21)،(1-22) ينتج العلاقتين المحددتين للقيمة العظمى للقوى القاعدي وللعزم القالب [1].

$$Q_{\max} = m\omega^2 S_d \quad (1-24)$$

$$M_{\max} = hm\omega^2 S_d \quad (1-25)$$

من تفحص العلاقة (1-17) يتبين أنه يمكن الحصول بشكل تقريبي على القيمة العظمى لسرعة الاستجابة بضرب الانتقال الطيفي بالتواتر الزاوي ويسمى هذا المقدار بالسرعة الطيفية الزائفة (الكاذبة) Spectral Pseudo Velocity [1,4].

$$S_{pv} = \omega S_d \quad (1-26)$$

وكذلك يتبين من المعادلة (1-20) أنه يمكن الحصول على القيمة العظمى للتسارع الكلي بضرب الانتقال بمربع التواتر الزاوي ويسمى هذا المقدار بالتسارع الطيفي الزائف Spectral Pseudo Acceleration [1,4].

$$S_{pa} = \omega^2 S_d \quad (1-27)$$

ويسمى المخطط البياني لأي من عناصر الاستجابة الطيفي بدلالة التواتر أو الدور بطيف الاستجابة Response Spectrum لذلك العنصر.

الفصل الثاني

أنظمة العزل الزلزالي - خصائصها ومجال استخدامها

The seismic isolation systems – theirs properties and uses

1-2- مقدمة: Introduction

يعرف العزل الزلزالي أيضاً باسم العزل القاعدي في المنشآت، وهي استراتيجية حديثة نسبياً في التصميم المقاوم للزلازل. يمكن استخدام تقنية العزل الزلزالي في المنشآت الجديدة وكذلك في المنشآت القائمة التي تحتاج لإعادة تأهيل، كما يمكن استخدامه في الجسور والمنشآت الصناعية. يعتمد العزل الزلزالي على وضع نظام يزود الجملة بمرونة أفقية وقدرة على تبديد الطاقة خلال الحدث الزلزالي وبالتالي تخفيض القوى التي يسببها الزلزال بمقدار (5~10) مرة من تلك القوى التي يخضع لها المنشأ العادي غير المعزول.

في التصميم التقليدي للمنشآت المقاومة للزلازل هناك خياران للتصميم:

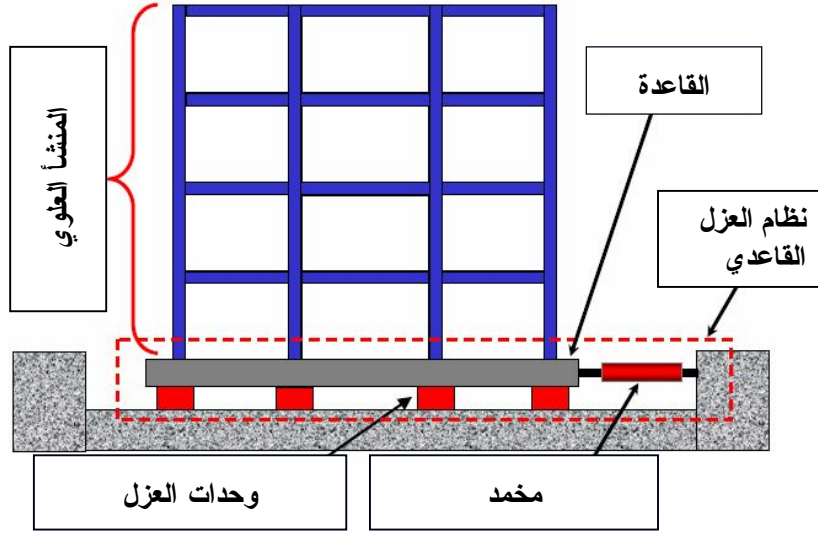
- **زيادة صلابة المنشأ:** حيث تنخفض الانتقالات الطابقية، ولكن تزداد معها كل من كلفة المنشأ والتسارعات الطابقية. في هذه الحالة لن ينهار المنشأ بتأثير الزلازل، ولكن قد تسبب التسارعات الطابقية العالية أضراراً في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية وفي محتويات المنشأ.

- **زيادة مطاوعة المنشأ:** هذا الأمر يؤدي إلى انخفاض في كلفة المنشأ وفي قيم التسارعات الطابقية، وبالتالي تتم حماية العناصر غير الإنشائية ومحتويات المنشأ، ولكن الانتقالات الطابقية الكبيرة ستؤدي إلى ضرر في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية. ومن هنا نجد أن التصميم التقليدي لا يؤمن حماية للمنشآت ومحتوياتها في آن معاً، لذلك جاءت أنظمة العزل الزلزالي كإحدى الحلول الهندسية لحماية هذه المنشآت ومحتوياتها من الأضرار الناتجة عن الزلازل وبالتالي ضمان أمنها واستقرارها [37].

2-2- مبادئ العزل الزلزالي: Principles of Seismic Isolation

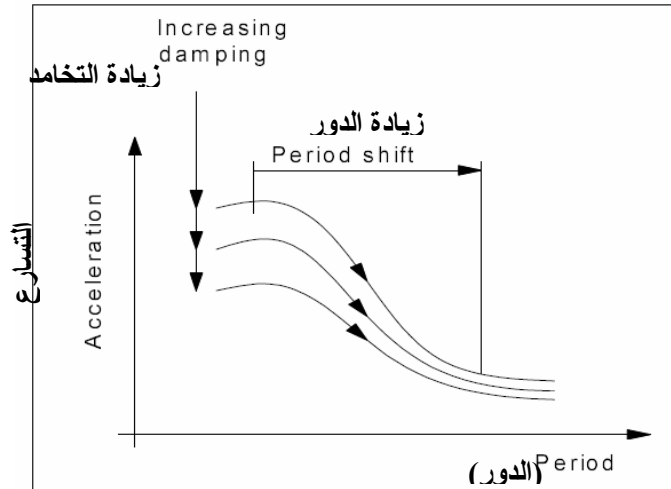
إن الهدف الأساسي من العزل الزلزالي هو تخفيض قيم القوى المتسربة إلى المنشأ أكثر من مقاومتها. يعتمد مبدأ العزل الزلزالي على وضع أنظمة ذات صلابة أفقية منخفضة بين المنشأ والأساس. وهذا سيؤدي إلى إطالة قيمة الدور الأساسي للمنشأ أكثر منه في حالة الاتصال الصلب

مع القاعدة وتبديد الطاقة من خلال التخميد. وبالتالي يمكن تخفيض القوى المنقولة إلى المنشأ وكذلك استجابة المنشأ العلوي (كالاتقال النسبي والتسارع الطائقي) بشكل كبير.



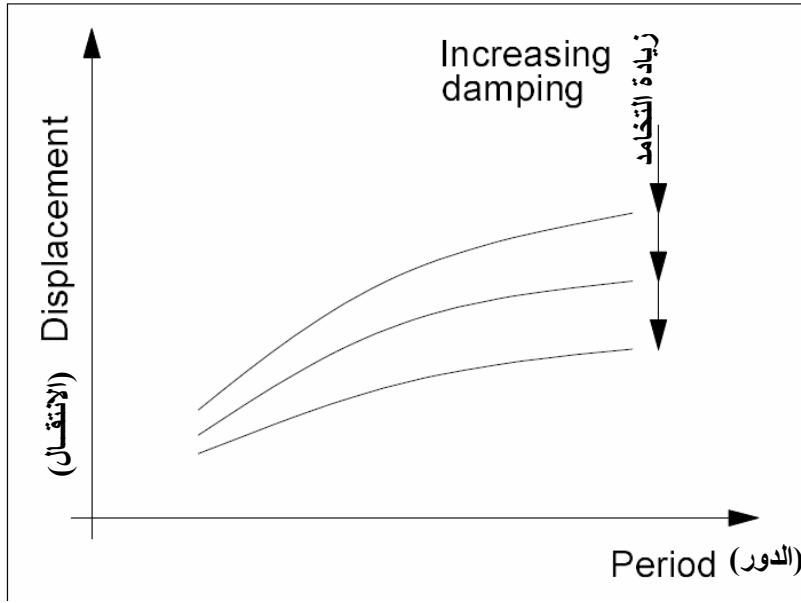
الشكل (2-1) نموذج لمنشأ معزول زلزالياً

بشكل عام، تتراوح قيم دور التسارعات الزلزالية بين (0.1~1sec) حيث غالبية الزلازل لها دور يتراوح ما بين (0.2~0.6)، لذلك فإن المنشآت التي يقع دورها ضمن المجال (0.1~1sec) من السهل أن يحدث فيها طنين وبالتالي تكون معرضة لأخطار الزلازل بشكل كبير. إذاً زيادة دور اهتزاز المنشأ إلى القيمة (2~3sec) هو حل مثالي لجعل دور المنشأ خارج تأثير الدور المسيطر للزلازل وبالتالي تجنب حادثة الطنين وخفض استجابة التسارع الزلزالية [33].



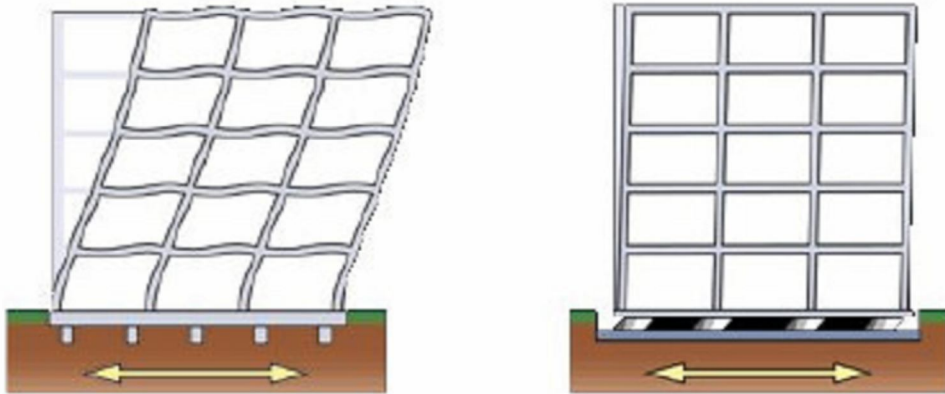
الشكل (2-2) طيف الاستجابة للتسارع [37]

يظهر الشكل (2-2) فوائد إضافة نظام العزل بشكل أفقي عند قاعدة المبنى، إذ يبيّن الشكل الانخفاض السريع في قيمة التسارع المنتقل إلى المنشأ المعزول وذلك عند إطالة دور العزل. يتم التحكم بانتقالات العازل بحيث تصبح (100~400mm) وذلك من خلال إضافة نسبة تخامد تعادل 5~20% ويظهر الشكلين (2-2) و(2-3) أثر التخامد في التحكم في قيم الانتقالات والتسارعات. ولكن يفضل أن لا تتجاوز قيمة التخامد 20% لأن قيم التخامد العالية تزيد استجابة التسارع.



الشكل (2-3) طيف الاستجابة للانتقال [37]

في المنشآت المعزولة تتخفف قيم الانتقالات الطابقية بشكل كبير، وبالتالي يسلك المنشأ الواقع فوق طبقة العزل سلوك جسم صلب [37] كما هو واضح في الشكل (2-4):



(b) منشأ غير معزول

(a) منشأ معزول

الشكل (2-4) الاستجابة الزلزالية لمنشأ معزول وغير معزول [37]

يمكن القول أن العناصر الأساسية الواجب توفرها في نظام العزل كما عرفها Mays and Buckle (1990) [35] هي:

- أ- المرونة من أجل إطالة الدور وإعطاء أثر العزل.
- ب- التخامد وبالتالي القدرة على تبديد الطاقة والتحكم بانتقالات العازل.
- ج- الصلابة العالية من أجل مقاومة الحمولات في الظروف الطبيعية، كما أن هناك متطلبات أخرى مثل الديمومة والكلفة وسهولة التنفيذ .

2-3- الحمولات غير الزلزالية: Non-Seismic loads

من تعريف العزل الزلزالي القاعدي، يفهم بأنه يقوم بفصل المنشأ عن الأرض ويعمل على نقل جميع الحمولات من المنشأ إلى الأرض، بالرغم من أن العوازل تصمم من أجل مقاومة الأحمال الزلزالية، إلا أنه من الضروري أن تكون قادرة على تحمل الأحمال الأخرى الناتجة من عدة مصادر:

- 1- الحمولات الشاقولية: يجب أن تكون العوازل قادرة على تحمل الأحمال الشاقولية الدائمة والحية.
- 2- حمولة الرياح: كل العوازل يجب أن تقاوم أحمال الرياح الجانبية. إذ أن العوازل تصمم بحيث تبقى ثابتة تحت تأثير أحمال الرياح الجانبية وبالتالي فإن العوازل لن تكبح (تخمد) حمولة الرياح.
- 3- التغيرات الحرارية: تشكل حالة التصميم الأكثر شيوعاً من أجل الجسور ولكن قد تؤثر على بعض منشآت الأبنية الكبيرة. تؤدي التغيرات الحرارية إلى حركة في العوازل وهذه الحركة الحرارية هي حمولة ذات تردد نسبي، وتصمم العوازل بحيث يمكن أن تقاوم عدد كبير من الدورات الموجبة والسالبة.
- 4- الصدمات وحمولات التشغيل: يؤدي وجود بعض الآلات إلى تطبيق حمولة أخرى ناتجة عن التشغيل على العوازل.

2-4- أنظمة العزل الزلزالي: Seismic Isolation Systems

إن مدى فعالية نظام عزل زلزالي لمنشأ معين يعتمد بشكل كبير على الاختيار المناسب لجهاز العزل من حيث مرونته الأفقية، قدرته على إعادة تمركز المنشأ بعد زوال الحدث الزلزالي وكذلك قدرته على التخמיד.

إن معظم أنظمة العزل المستخدمة عالمياً هي إما أنظمة عزل مطاطية أو أنظمة عزل تعمل بالانزلاق أو النظامين معاً.

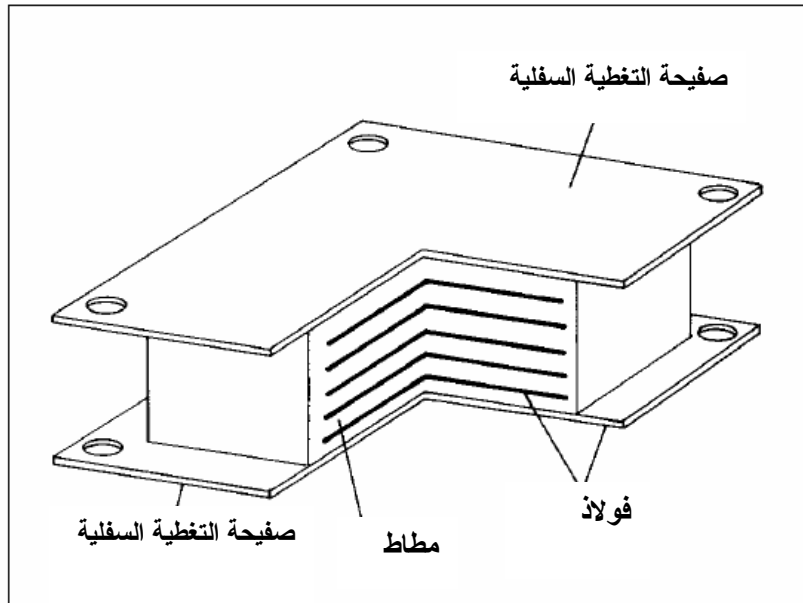
2-4-1-1 أنظمة العزل المطاطية: Elastomeric Bearings

نميّز من هذه الأنظمة ما يلي:

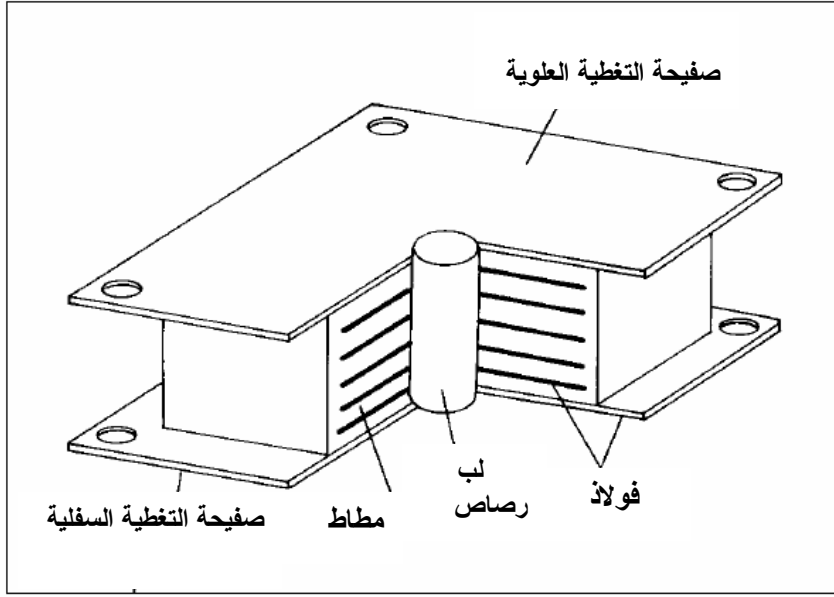
2-4-1-1-1 مساند المطاط منخفض التخماد (Low Damping Rubber) (LDR). يتألف هذا النوع من المساند من طبقات من المطاط متناوبة مع صفائح من الفولاذ. يتم وضع صفائح الفولاذ من أجل زيادة الصلابة الشاقولية وتحسين استقرار النظام تحت تأثير الحمولات الجانبية غير الزلزالية كحمولة الرياح مثلاً.

2-4-1-1-2 مساند المطاط عالي التخماد (High Damping Rubber) (HDR) الشكل (2-5) في هذا النوع من المساند يتم استخدام المطاط العادي الذي تمت معالجته كيميائياً وبالتالي تحسين خواصه الميكانيكية كمقدار التطاول، معامل القص، معامل التخماد والصلابة وللحصول على مزيد من المعلومات يمكن الاطلاع على المراجع [21,35].

2-4-1-1-3 مساند المطاط منخفض التخماد مع لب من الرصاص (Lead-plug Rubber Bearing) (LRB) الشكل (2-6) [21]. في هذا النوع من المساند يتم إدخال خابور (لب) من الرصاص من أجل تخفيف التشوهات الكبيرة التي قد تحدث للمساند والتي تم وصفها سابقاً وذلك تحت تأثير الحمولات السنتاتيكية، كما أن خوابير الرصاص تلعب دوراً مخمداً للطاقة الحركية من خلال تحويلها إلى طاقة حرارية وبالتالي تخفيف اهتزاز المنشأ.



الشكل (2-5) المطاط عالي التخماد [21]



الشكل (2-6) مطاط منخفض التخماد مع لب من الرصاص [21]

2-4-2- أنظمة العزل التي تعمل بالانزلاق: Isolation Systems Based on Sliding

تعتبر من أكثر تقنيات العزل الزلزالي الفعالة والشائعة الاستخدام. تتميز هذه الأنظمة بأداء جيد تحت تأثير الحمولات الزلزالية القوية وتعتبر فعالة في تخفيض المستويات العالية لتسارعات المنشأ العلوي. تم تطبيق هذه الأنظمة على الأبنية والجسور .

تتميز أنظمة العزل التي تعمل بالانزلاق مقارنة مع العوازل المطاطية التقليدية بما يلي:

1- يعتبر نظام العزل القاعدي الذي يعمل بالاحتكاك فعال من أجل مجال واسع من الترددات الزلزالية المحرصة.

2- بما أن القوة المتولدة عند قاعدة المنشأ متناسبة بشكل مباشر مع كتلة المنشأ وأن مركز كتلة

المنشأ وصلابة العازل متطابقين فإنه يمكن إهمال تأثير الفتل على المنشأ.

ونميز منها ما يلي:

1-2-4-2 نظام العزل الاحتكاكي - المرن: R-FBI

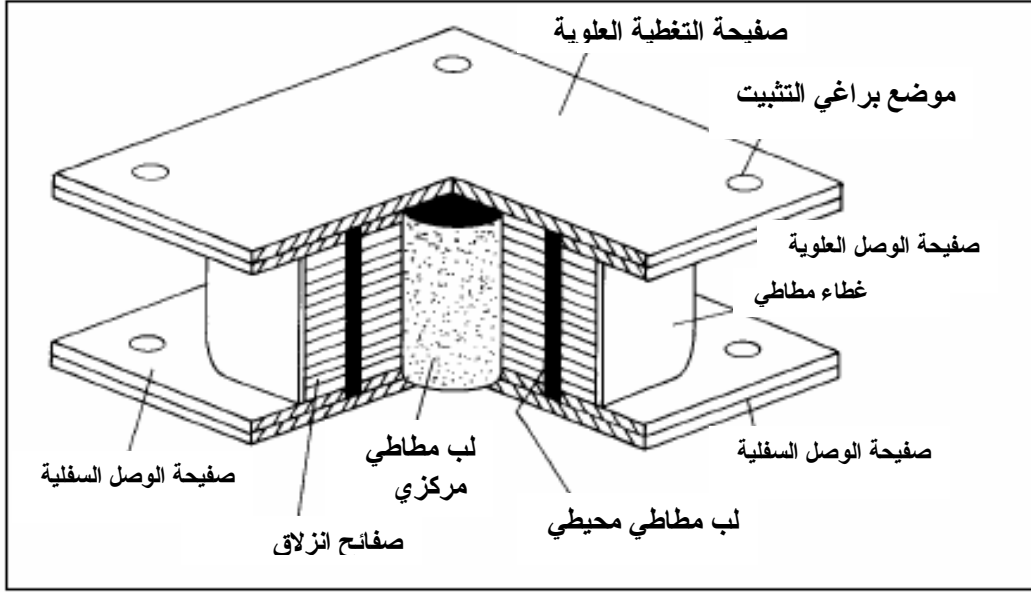
Resilient-Friction Base Isolation System

يتألف نظام العزل الاحتكاكي - المرن من طبقات متحدة المركز مصنوعة من صفائح معدنية مغطاة بالنفلون وتكون في حالة تماس بالاحتكاك فيما بينها وتحتوي على لب مطاطي الشكل (2-7) .

يشمل نظام العزل هذا الفوائد العائدة للتخامد بالاحتكاك مع خاصية المرونة للمطاط (خاصية الإرجاع). يوزع لب المطاط الانتقالات الناتجة عن الانزلاق والسرعة على طول مسند R-FBI.

يؤمن هذا النظام العزل من خلال العمل المتوازي للاحتكاك، التخامد وقوة الإرجاع [21].

يبين الشكل (2-7) نظام العزل الاحتكاكي - المرن.



الشكل (2-7) نظام العزل الاحتكاكي - المرن [27]

2-2-4-2-الأجهزة التي تعمل بالاحتكاك الصافي على سطح مستوي:

Pure-friction base isolator

يعتبر نظام العزل الذي يعمل بالاحتكاك الصافي فقط أبسط نظام يعمل بالانزلاق. في هذا النظام يفصل مستوي الانزلاق المنشأ العلوي عن المنشأ السفلي. إن استخدام طبقات من الرمل أو المتدحرجات في أساس المبنى مثال عن هذا النظام. يتألف نظام المتدحرجات (*Free Rolling Rods*) بشكل أساسي من الاسطوانات المتدحرجة وهي عبارة عن أسطوانات معدنية توضع بشكل متواز على كامل قاعدة المنشأ، إما على طبقة واحدة كما في الشكل (2-8) وتحيط بها من الأعلى والأسفل صفائح معدنية لها سطوح ملساء من أجل تقليل معامل الاحتكاك وزيادة إمكانية الحركة وقد يتم وضع طبقة ثانية من الأسطوانات بالاتجاه العمودي على مسار الطبقة الأولى كما في الشكل (2-9) وبذلك يتم السماح للمنشأ بالحركة باتجاهين متعامدين.

في ظروف التحميل العادية وفي حالة الزلازل ذات الشدات الصغيرة، فإن النظام يعمل كقاعدة ثابتة خاضعة لقوة احتكاك ستاتيكية. بينما من أجل حالة الزلازل القوية يتم التغلب على قوة الاحتكاك الستاتيكية ويحدث الانزلاق وبذلك يحدث انخفاض لقيم التسارعات [38].

إن استخدام هذا النوع من العوازل الزلزالية قد يؤدي إلى انتقالات كبيرة وقد يكون هناك انتقالات متبقية للمنشأ بعد زوال الحدث الزلزالي ولذلك يجب إضافة أجهزة إضافية كالمخمدات أو النوابض

أو أجهزة ثقل توازني تضمن إعادة المنشأ لوضعه الأصلي (إعادة التمرکز للمنشأ بعد زوال الحدث الزلزالي) [24].



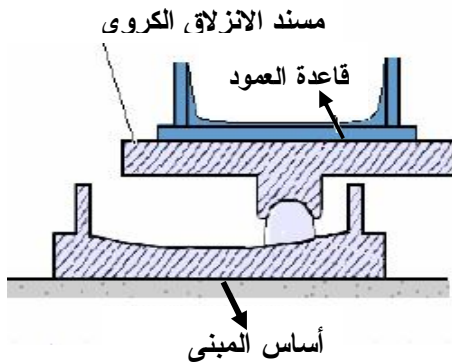
الشكل (2-8) أسطوانات عزل من طبقة واحدة [38]



الشكل (2-9) أسطوانات عزل من طبقتين بالاتجاهين الأفقيين [38]

2-4-2-3 نظام النواس الاحتكاكي (FPS) Friction Pendulum System:

يتألف عازل النواس الاحتكاكي بشكل أساسي من جزأين كما يظهر في الشكل (2-10). حيث يستند المنشأ المراد عزله على الجزء العلوي من عازل FPS والذي يشكل سطح استناد مع شريحة منزلقة (مزلق) مغطاة بالتفلون، أما الجزء السفلي فهو عبارة عن سطح كروي مصنوع من الفولاذ يستند عليه الجزء العلوي. يؤمن الشكل النصف الكروي للشريحة المنزلقة ضغط منتظم نسبياً تحت الشريحة، حيث يخفّض هذا الضغط المنتظم الحركة التآرجحية (المضربية) (slip-stick) كما يمنع حدوث ضغط محلي عالٍ على المسند.



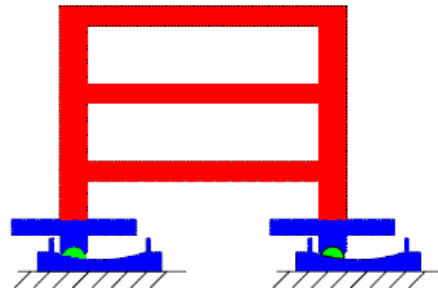
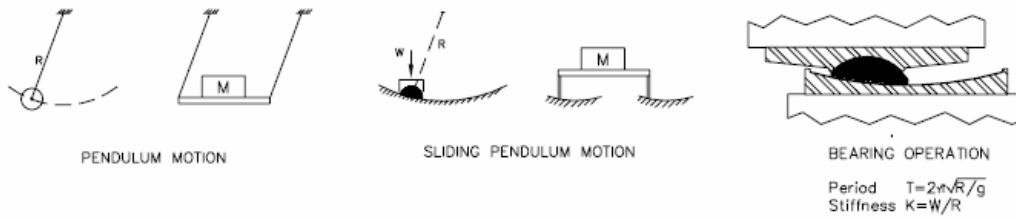
(b) مقطع في العازل



(a) عازل النواس الاحتكاكي

الشكل (2-10) عازل النواس الاحتكاكي [10]

تتميز مساند النواس الاحتكاكي (FPS) بخصائص متعددة تلبي متطلبات مختلف المنشآت الهندسية والصناعية. هذه الخصائص تتمثل بقيم دور العازل التي تتراوح ما بين (1~5 sec)، قدرة تحمله للحمولات الشاقولية إذ يستطيع العازل بمفرده تحمل حمولة شاقولية تصل إلى 133440KN [10]. كما يمكن أن يسمح هذا العازل بانتقال أفقي مقداره (60 inch)، أما قيم معامل الاحتكاك لهذا العازل فهي تتراوح ما بين (20%~3)، ويعطي هذا العازل تخامد يتراوح ما بين (10%~40). إن قيم أنصاف القطر النظامية المستخدمة عالمياً هي: (R=36, 61, 88, 120, 156, 244 inch) يستخدم عازل النواس الاحتكاكي خصائص النواس من أجل إطالة دور المنشأ المعزول وذلك للتخفيف من تأثير القوى الزلزالية. يتم اختيار دور العازل اعتماداً على اختيار نصف قطر التقعر لسطح العازل وفق العلاقة ($T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$)، إذ أن دور العازل مستقل عن كتلة المنشأ. وبالتالي يمكن التحكم باستجابة المنشأ بشكل أسهل. أو يمكن القول أن دور العازل ثابت سواء أكان وزن المنشأ كبيراً أم صغيراً أو حتى لو قيم وزن المنشأ بشكل خاطئ. عندما تكون قيمة القوة الزلزالية المحرصة أصغر من قوة الاحتكاك الستاتيكية فإن المنشأ المعزول بواسطة الـ FPS يستجيب بشكل مشابه لاستجابة المنشأ العادي غير معزول بدور مساوٍ لدوره الأساسي (أي الدور الأساسي للمنشأ غير المعزول). وعندما تتجاوز قيمة القوة الزلزالية قوة الاحتكاك، يستجيب المنشأ تبعاً لدور العزل مع استجابة ديناميكية وتخامد تبعاً لخصائص العازل. يبين الشكل (2-11) الحركة النوسية لعازل النواس الاحتكاكي.

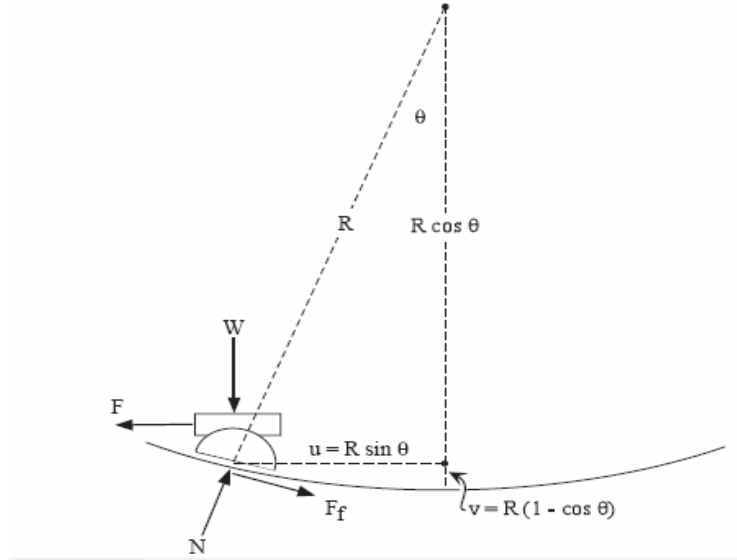


الشكل (2-11) الحركة النوسية لعازل النواس الاحتكاكي [10]

2-4-2-3-1-دراسة التحليلية لعازل النواس الاحتكاكي:

لقد تمت دراسة نظام FPS من الناحيتين النظرية والعملية وقد أثبتت الدراسة فعالية هذا النظام بشكل واسع لأجل الكثير من المنشآت الهندسية [5].

كما أسلفنا سابقاً بأنّ نظام FPS يتألف من شريحة منزلقة (مغطاة بالتفلون) على سطح كروي مصنوع من المعدن المصقول، فعندما تتجاوز قوة الزلزال المحرض القوة الستاتيكية يحدث انتقال للمنشأ على طول السطح الكروي فتتولد قوة الإرجاع لهذا النظام، بينما يتم تبديد الطاقة من خلال الاحتكاك. تتشكل القوة المطلوبة لإحداث الانتقال في المسند F من قوة الإرجاع F_r المتولدة نتيجة الحركة النوسية، ومن قوة الاحتكاك F_f على طول الانزلاق. يبيّن الشكل (2-12) مخطط الجسم الحر للـ FPS :



الشكل (2-12) مخطط الجسم الحر لنظام النواس الاحتكاكي [6]

تعطى مركبتا الانتقال الأفقية والشاقولية بالعلاقتين [6]:

$$\begin{aligned} u &= R \sin(\theta) \\ v &= R(1 - \cos(\theta)) \end{aligned} \quad (2-1)$$

حيث R : نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق الكروي.
تعطى القوة الأفقية الجانبية من التوازن، F ، كالتالي [29]:

$$F = N \cdot \sin(\theta) + F_f \cdot \cos(\theta) \quad (2-2)$$

استناداً إلى الشكل السابق يمكن أن نكتب:

$$\cos(\theta) = \frac{W}{N} \quad (2-3)$$

تعطى قوة الاحتكاك F_f بالصيغة التالية [31]:

$$F_f = \mu N \quad (2-4)$$

فتكون قوة الاحتكاك F_f كما يلي:

$$F_f = \frac{\mu W}{\cos(\theta)} \quad (2-5)$$

حيث W : الوزن المنقول عبر المسند. μ معامل الاحتكاك.
القوة الأفقية الكلية في العازل تصبح [6]:

$$(2-6)$$

$$F = W \cdot \tan(\theta) + \mu W$$

من أجل انتقالات صغيرة ($u < 0.2R$) تكون الزوايا صغيرة (θ) وبالتالي يمكن القول إن:

$$\tan(\theta) = \theta = \frac{u}{R} \quad (2-7)$$

القوة الأفقية الكلية في العازل تصبح بالشكل [6]:

$$F = W \frac{u}{R} + \mu W \quad (2-8)$$

يمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل [6]:

$$F = \frac{W}{R} u + \mu W \cdot \text{sgn}(\dot{u}) = F_r + F_f \quad (2-9)$$

حيث، \dot{u} : السرعة sgn: تابع signum ويساوي 1- أو +1 وذلك تبعاً لقيمة السرعة هل هي سالبة أو موجبة على الترتيب .

بشكل عام يتم تصميم عازل FPS من أجل انتقال $u < 0.2R$ وذلك من أجل تخفيض خطأ الحالة اللاخطية (linearization error) ومن أجل تخفيض القوى المتولدة في الأعمدة الإنشائية [6].

إن قوة الاحتكاك المتولدة على سطح الانزلاق تعتمد على القوة الناظمية، ضغط المسند، اتجاه وقيمة سرعة الانزلاق، ومكونات سطح الانزلاق. لقد تمت دراسة الخصائص الاحتكاكية للتقنون والسطح الفولاذي المصقول من قبل Mokha (1988) و Constantinou (1990). وقد اقترح Constantinou علاقة من أجل تحديد معامل الاحتكاك الديناميكي [6].

$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) \exp^{-a|\dot{u}|} \quad (2-10)$$

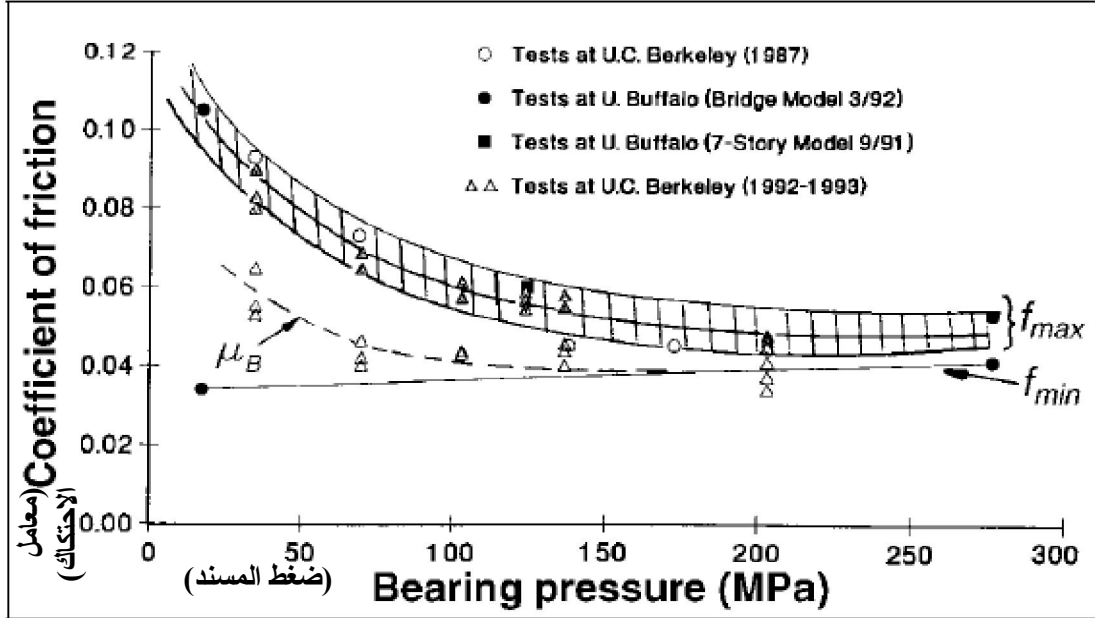
حيث μ_s : معامل الاحتكاك بالانزلاق. \dot{u} : سرعة الانزلاق.

f_{\max} ، f_{\min} : معامل الاحتكاك عند السرعات المنخفضة والعالية على الترتيب .

a : معامل يحدد حسب الضغط على المسند وسرعة الانزلاق.

تحدد قيم f_{max} ، f_{min} ، a بشكل تجريبي بالاعتماد على ضغط المسند وقساوة السطح ومكونات الـ PTFE (التفلون) ويمكن الحصول على قيم هذه المتحولات من الاختبارات وفق Mokha (1988) [6].

يوضح الشكل (2-13) علاقة معامل الاحتكاك بالضغط المطبق على المسند.



الشكل (2-13) معامل الاحتكاك لمساند FPS [12]

بشكل عام، يعطى دور العزل بالعلاقة [7]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad (2-11)$$

حيث:

$M=W/g$: كتلة المنشأ، K : الصلابة الجانبية الكلية لنظام العزل.

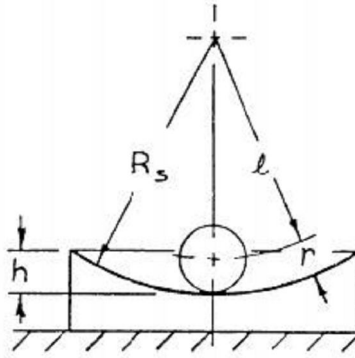
تعطى الصلابة الجانبية للنواس الاحتكاكي والناجمة عن السطح المقعر خلال الحركة النوسية بالمساواة: $K = \frac{W}{R}$ ، فيكون دور حركة عازل النواس الاحتكاكي (FPS) مستقل عن كتلة المنشأ

ويتعلق فقط بنصف قطر التقعر كما هو واضح من الصيغة التالية [10]:

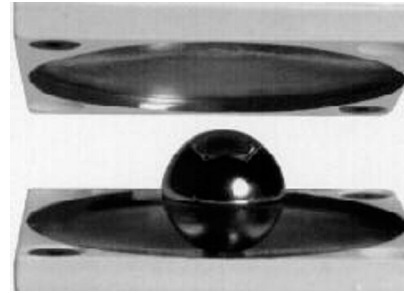
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2-12)$$

2-4-2-4- نظام الكرات المعدنية Ball System شكل (2-14):

هذا النظام يجمع ما بين ميزات التدرج الحر (المتدحرجات *Free Rolling Rods*)، التي تتسم بقوى احتكاك صغيرة، وبين خاصية الإرجاع البسيطة التي تتمتع بها عوازل الـ FPS. ويمتاز بقدرته على تخفيض آثار الفتل الناتجة عن التوزع غير المنتظم للكتلة بالنسبة للأبنية غير المتناظرة.



(b) النموذج التحليلي



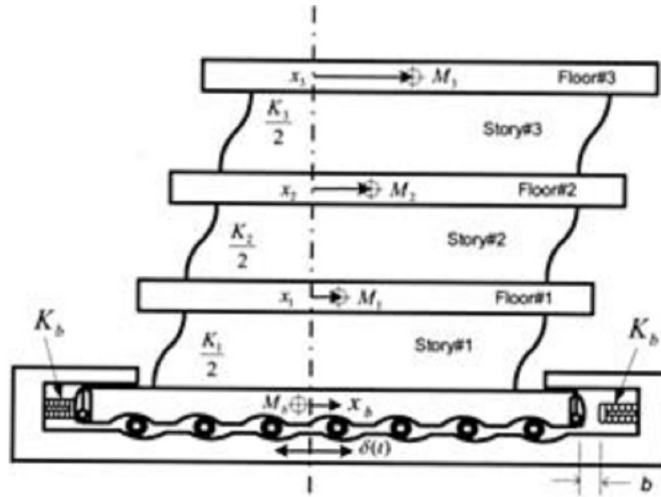
(a) جهاز العزل بالكرات مفرد

الشكل (2-14) عازل الكرات

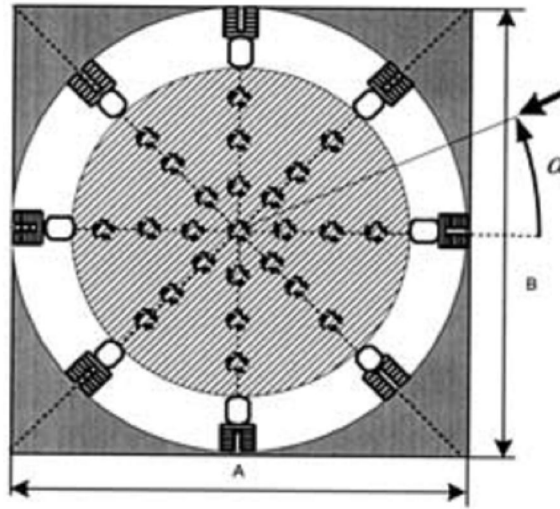
يتألف نظام العزل هذا من الكرات المعدنية (Ball System) - سطوح الاستناد الكروية - حدبات التحويل كما يبيّن الشكل (2-15).

2-4-2-4-1- الدراسة التحليلية لنظام الكرات المعدنية:

يظهر الشكل (2-15) مقطع جانبي وقطع أفقي في مستوي العزل لمبنى معزول باستخدام نظام الكرات المعدنية.



(a)

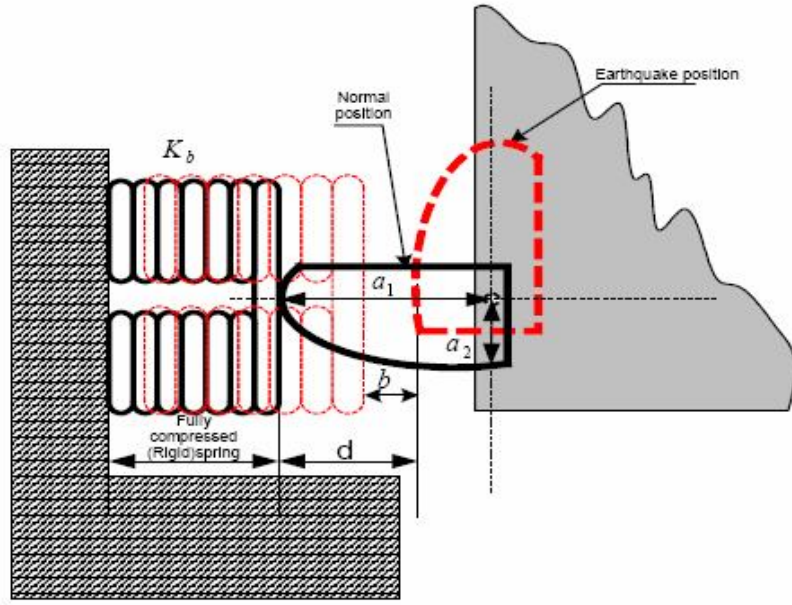


(b)

الشكل (2-15) (a) منظور جانبي (b) مسقط أفقي

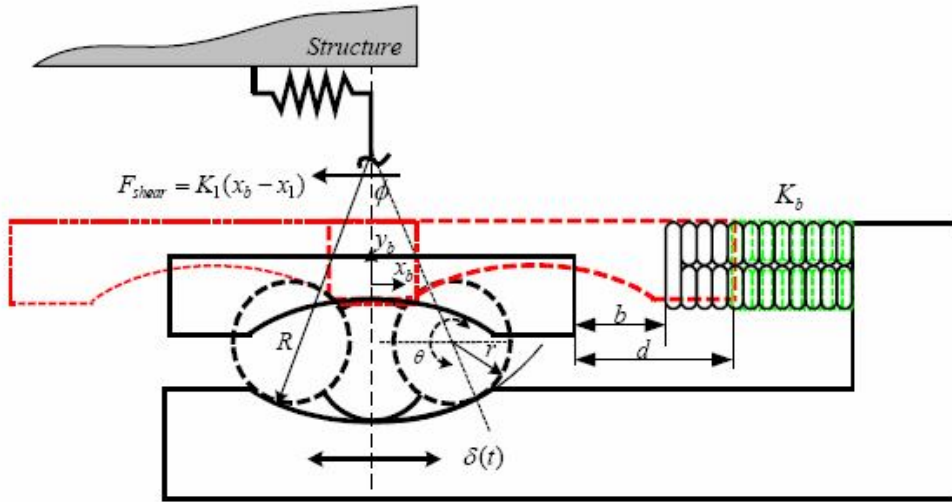
لمبنى معزول باستخدام نظام الكرات المعدنية [17]

يتضح من الشكل (2-16) بأنّ النوابض الجانبية تكون مضغوطة تماماً بواسطة حديبات التحويل في الظروف الطبيعية للتحميل وبذلك يكون المنشأ متصل اتصالاً صلباً مع الأرض. وعند وقوع الحدث الزلزالي تدور الحديبة بزواوية 90° للسماح للنظام بالحركة الأفقية ومن ثمّ تعود لوضعها الأصلي بعد زوال التأثير [14].



الشكل (2-16) آلية عمل الحدية في مسند الكرات [17]

يمكننا كتابة المعادلات الديناميكية للنظام بالاعتماد على الشكل (2-17) الذي يظهر آلية حركة القاعدة :



الشكل (2-17) آلية حركة القاعدة [17]

يمكن أن نكتب المعادلات الديناميكية لمنشأ معزول من أجل حالتين مختلفتين:

$$\max |x_b - \delta(t)| \geq b$$

(a) من أجل :

تكون معادلة الحركة [15]:

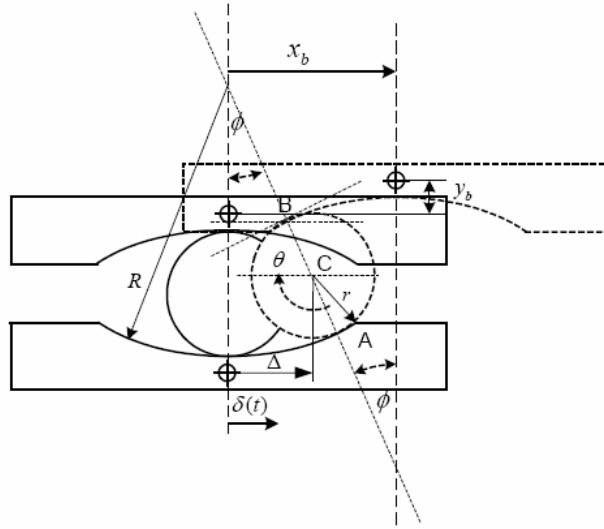
$$M_b \ddot{x}_b + K_1(x_b - x_1) + c_1(\dot{x}_b - \dot{x}_1) + K_b(x_b - \delta(t)) + \mu_{eff}((M_s + M_b)(\ddot{y}_b + g)) = 0 \quad (2-13)$$

حيث: M_s كتلة المنشأ العلوي، M_b : كتلة القاعدة، g : تسارع الجاذبية الأرضي. $\delta(t)$: الانتقال الأرضي. \ddot{y}_b : التسارع الشاقولي عند القاعدة، H القوة الأفقية الكلية المطبقة على القاعدة، K_b صلابة النابض الجانبية، K_1 صلابة الطابق الأول.

يعطى معامل الاحتكاك الفعال للقاعدة μ_{eff} بالعلاقة [15]:

$$\mu_{eff} = \left\{ \frac{\sin(\phi) + \mu_0 \cdot \text{sgn}(\dot{x}_b - \dot{\delta}(t)) \cdot \cos(\phi)}{\cos(\phi) - \mu_0 \cdot \text{sgn}(\dot{x}_b - \dot{\delta}(t)) \cdot \sin(\phi)} \right\} \quad (2-14)$$

μ_0 : يمثل معامل الاحتكاك بالتدحرج. ويؤخذ [0.01] كما توصي المراجع [15,17,18].
بالاعتماد على الشكل الآتي (2-18) الذي يبيّن حركة القاعدة والعلاقات الهندسية يمكن أن نكتب الصيغ الآتية [17]:



الشكل (2-18) حركة القاعدة والعلاقات الهندسية [15]

$$x_b = \delta(t) + 2(R-r) \sin \phi \quad (2-15)$$

$$\Delta = \frac{(x_b - \delta(t))}{2} \quad (2-16)$$

$$\phi \cong \left[\frac{(x_b - \delta(t))}{2(R-r)} \right] \quad (2-17)$$

$$\theta \cong \left[\frac{(x_b - \delta(t)) R}{2(R-r)r} \right] \quad (2-18)$$

حيث: x_b انتقال القاعدة بالنسبة للأرض. ϕ : زاوية النواس، R نصف قطر السطح الكروي. r نصف قطر الكرات المعدنية. b المسافة بين القاعدة والنابض عندما يكون حر. d : المسافة بين القاعدة والنابض عندما يكون مضغوط تماماً.

تعطى علاقة التسارع الشاقولي بالشكل [17]:

$$\ddot{y}_b = 2(R-r)[(\ddot{\phi})\sin(\phi) + (\dot{\phi})^2 \cos(\phi)] \quad (2-19)$$

القوة الأفقية الكلية المطبقة على القاعدة تعطى بالصيغة الآتية [15]:

$$H \cong \mu_{eff}((M_s + M_b)(\ddot{y}_b + g)) \quad (2-20)$$

$$\max|x_b - \delta(t)| < b \quad \text{(b) من أجل :}$$

في هذه الحالة لن يتم إدخال صلابة النوابض الجانبية في معادلة الحركة. وتعطى معادلة الحركة في

الحالة العامة لنظام مؤلف من n درجة حرية بالصيغ التالية [15]:

$$M_b \ddot{x}_b + K_1(x_b - x_1) + c_1(\dot{x}_b - \dot{x}_1) + \mu_{eff}((M_s + M_b)(\ddot{y}_b + g)) = 0 \quad (2-21)$$

$$M_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_b) + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_1(x_1 - x_b) + K_2(x_1 - x_2) = 0 \quad (2-22)$$

$$M_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + K_2(x_2 - x_1) + K_3(x_2 - x_3) = 0 \quad (2-23)$$

$$M_{n-1} \ddot{x}_{n-1} + c_{n-1}(\dot{x}_{n-1} - \dot{x}_{n-2}) + c_n(\dot{x}_{n-2} - \dot{x}_n) + K_{n-1}(x_{n-1} - x_{n-2}) + K_n(x_{n-1} - x_n) = 0 \quad (2-24)$$

$$M_n \ddot{x}_n + c_n(\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) + K_n(x_n - x_{n-1}) = 0 \quad (2-25)$$

بشكل عام يتم إهمال تأثير التخماد $C_{1,2,\dots,n}=0$

$$M_s = M_1 + M_2 + \dots + M_n \quad (2-25)$$

حيث:

M_1, M_2, \dots, M_n كتل المنشأ المركزة والموافقة لدرجات الحرية.

تعطى القيم المثلى للمتحولات R, b حسب ما ورد في عدد من المراجع منها [15,17] بالشكل:
 $2.5 \leq R \leq 4 \quad (m) \quad 0 \leq b \leq 0.15 \quad (m)$

يحدد دور الحركة بالمساواة [8]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} : \quad L = 2(R-r) \quad (2-26)$$

5-2- النمذجة الرياضية للعوازل: Mathematical Modeling of Isolators

تم تطوير كودات خاصة لتصميم المنشآت المعزولة وقد سمحت هذه الكودات باستخدام النموذج الخطي المكافئ في حالة أنظمة العزل اللاخطية (non-linear isolation systems) من أجل استخدامه في حالة طرق التحليل الخطية. تعتمد النماذج الخطية على الصلابة الفعالة الموافقة للانتقال التصميمي والتخماد اللزج المكافئ الذي يحسب من مساحة الحلقة التخلفية.

يمكن أن تتم نمذجة العوازل إما كنموذج خطي مكافئ أو نموذج لاخطي (ثنائي الخطية):

2-5-1- النموذج الثنائي الخطية للعوازل: Bi-linear hysteretic model of isolators

يمكن استخدام النموذج الثنائي الخطية (Bilinear) من أجل جميع أنظمة العزل المستخدمة حيث يمكنه أن يعكس السلوك اللاخطي لأنظمة النواس الاحتكاكي الشائع الاستخدام كوسيلة عزل زلزالي. يمكن أن تتم نمذجة السلوك اللاخطي لعلاقة قوة-انتقال لنظام العزل من خلال الحلقة التخلفية الثنائية الخطية بالاعتماد على ثلاثة متحولات كما يظهر في الشكل (2-19):

- الصلابة الأولية (المرنة) K_1 .
- القوة المميزة Q التي تتعلق بمقاومة التلدن (yield strength) للبرصا في مساند المطاط وبمعامل الاحتكاك للنواس الاحتكاكي μ كما يبدو واضحاً من الصيغة التالية [23]:

$$Q = \mu \cdot W \quad (2-27)$$

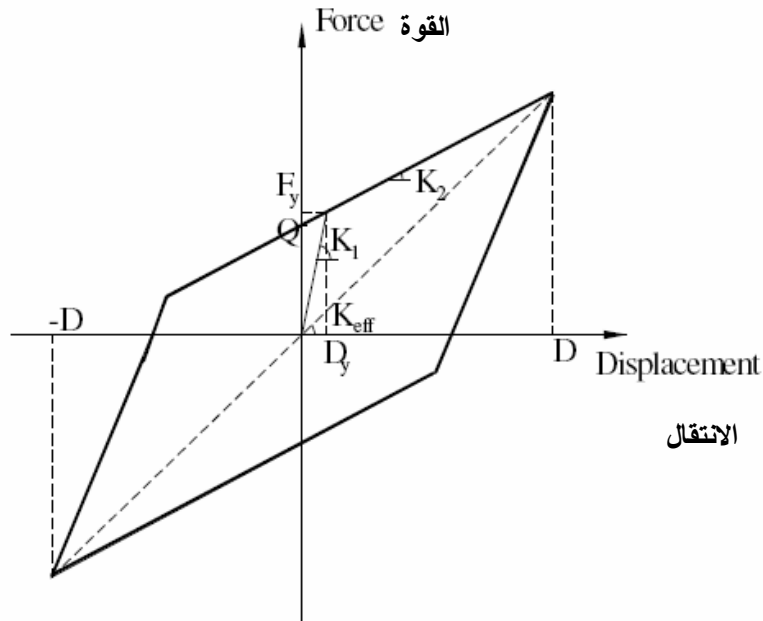
حيث W : وزن المنشأ.

- الصلابة ما بعد الخضوع K_2 ، والتي يتم اختيارها بحيث يتم الحصول على دور العزل $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_2}}$ حيث M : كتلة المنشأ المعزول.

بالنسبة لمساند النواس الاحتكاكي تعطى K_2 بالعلاقة الآتية [10]:

$$K_2 = \frac{W}{R} \quad (2-28)$$

يمثل R نصف قطر التقعر لعازل النواس الاحتكاكي.



الشكل (2-19) علاقة قوة-انتقال للنموذج الثنائي الخطية [37]

من أجل انتقال تصميمي D يعبر عن الصلابة الفعّالة بالعلاقة الآتية [37]:

$$K_{eff} = K_2 + \left(\frac{Q}{D}\right) \quad D > D_y \quad (2-29)$$

من أجل النواس الاحتكاكي تصبح الصلابة الفعّالة بالشكل الآتي [28]:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D} \quad (2-30)$$

حيث D_y يمثل الانتقال اللدن ويعطى بالصيغة الآتية [37]:

$$D_y = \frac{Q}{(K_1 - K_2)} \quad (2-31)$$

يحدث الخضوع عند انتقال D_y والذي تكون قيمته صغيرة جداً (للمطاط 25mm بينما للنواس الاحتكاكي 2.5mm) [23].

يعبر عن التخامد الفعّال للعازل بالمساواة الآتية [37]:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{E_D}{k_{eff} D^2} \right] = \frac{4Q(D - D_y)}{(2\pi \cdot K_{eff} D^2)} \quad (2-32)$$

E_D : تمثل مساحة الحلقة التخلفية لجهاز العزل من أجل انتقال تصميمي.

في حالة النواس الاحتكاكي تصبح علاقة التخامد الفعّال بالشكل [28]:

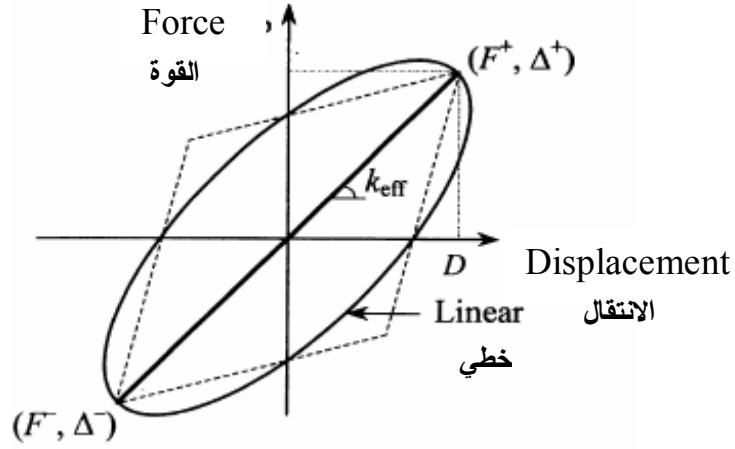
$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D/R} \quad (2-33)$$

2-5-2- النموذج الخطي المكافئ للعوازل: Equivalent Linear Model of Isolators

يمكن استبدال خاصية اللاخطية لعلاقة قوة-انتقال بنموذج خطي مكافئ من خلال استخدام الصلابة المرنة الفعّالة K_{eff} والتخامد اللزج الفعّال β_{eff} . يتم حساب الصلابة المرنة الخطية المكافئة من أجل كل دورة تحميل (cycle of loading) من مخطط قوة-انتقال الذي يتم الحصول عليه تجريبياً للعازل والذي يعبر عنه بالعلاقة التالية [23]:

$$K_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| - |\Delta^-|} \quad (2-34)$$

حيث F^+ و F^- القوى الموجبة والسالبة الموافقتين للانتقالات التجريبية Δ^+ و Δ^- على التوالي. يبيّن الشكل (2-20) الحلقة التخلفية حيث تمثل K_{eff} الميل للقيمتين الطرفيتين.



الشكل (2-20) علاقة قوة-انتقال للنموذج الخطي المكافئ [23]

يمكن أن يعبر عن قيمة التخميد الفعّال للعازل المحسوبة من أجل كل دورة تحميل بالمساواة الآتية [23]:

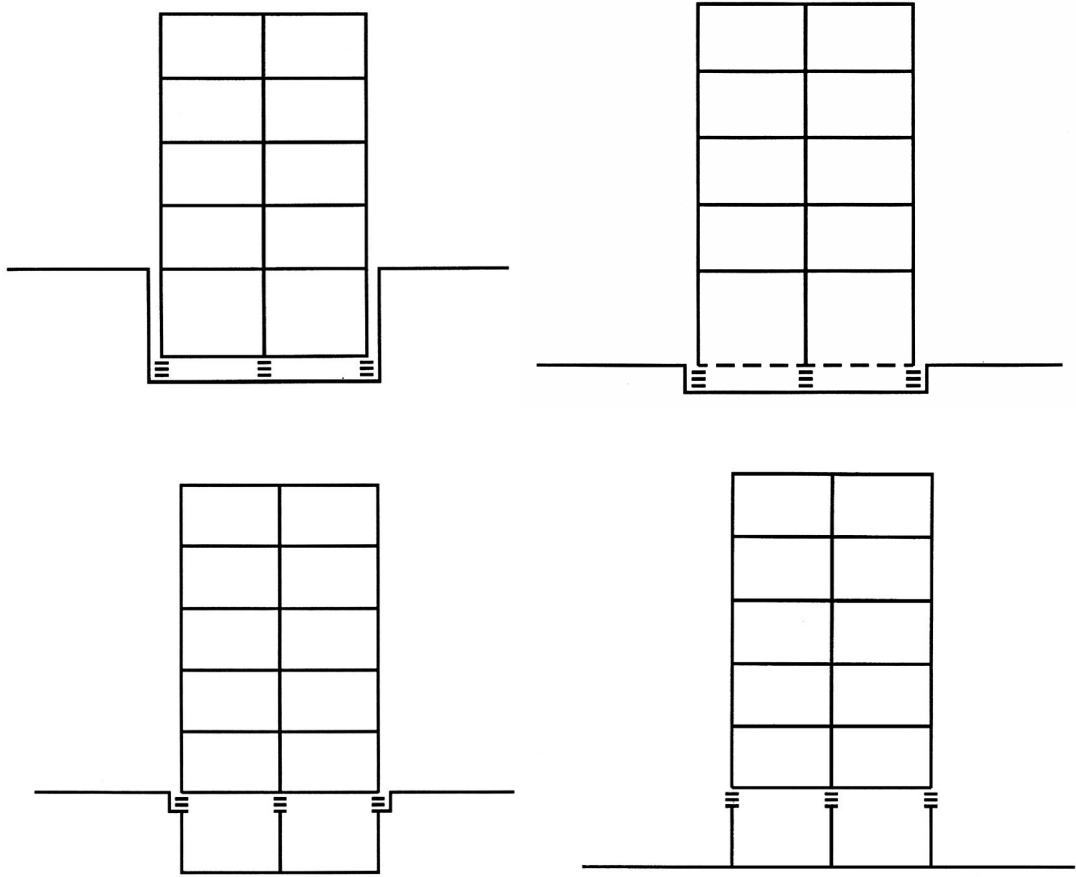
$$\beta_{eff} = \frac{(2E_{Loop})}{\pi K_{eff} (|\Delta^+| - |\Delta^-|)^2} \quad (2-35)$$

في هذه المساواة: E_{loop} تمثل الطاقة المبددة خلال دورة تحميل واحدة.

6-2- اختيار مستوي العزل: Selection of isolation plane

6-2-1- في الأبنية:

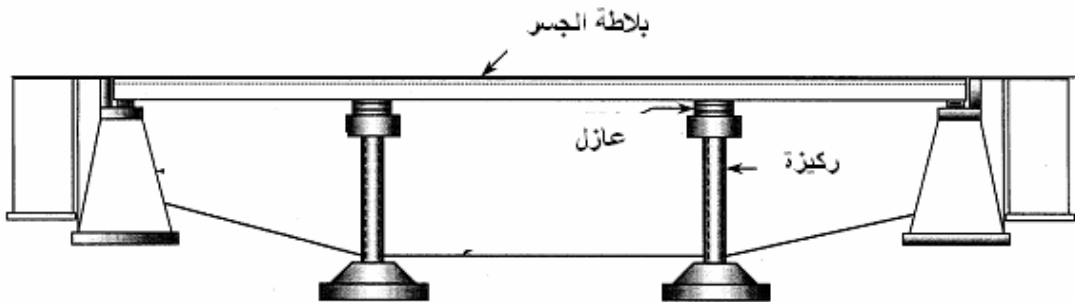
الشرط الأساسي لعزل الأبنية هو توفر إمكانية حركتها بشكل أفقي بالنسبة للأرض، لا تقل عادة المسافة الفاصلة ما بين المنشأ المراد عزله والمنشآت المجاورة عن 100mm وفي بعض الحالات تصل إلى 1m. لذلك يجب اختيار مستوي العزل بحيث يسمح بهذه الحركة، ولكن يعتمد الاختيار النهائي لمكان مستوي العزل على المنشأ المراد عزله [33] والشكل الآتي يوضح أماكن توضع العازل.



الشكل (2-21) أماكن توضع مستوي العزل في الأبنية [27]

2-6-2- في الجسور:

يعتبر مستوي العزل الأكثر شيوعاً في الجسور هو أعلى الركائز أي عزل المنشأ العلوي من الجسر كما يبين الشكل (2-22). أما في الحالة التي يشكل فيها وزن الركائز جزءاً كبيراً من الوزن الكلي للجسر عندها يفضل عزل هذه الكتلة الكبيرة كما هو الحال بالنسبة لكتلة المنشأ العلوي من الجسر، وذلك من خلال وضع العوازل عند قواعد الركائز.



الشكل (2-22) مكان توضع مستوي العزل في الجسور [33]

2-7- لمحة تاريخية عن العزل القاعدي: A Brief History Of Base Isolation

على الرغم من أنه قد تم تسجيل براءة اختراع العزل القاعدي منذ 1800، إلا أن عزل الجسور تم منذ بدايات السبعينات 1970 ولكن استخدام العزل في الأبنية بدأ في أواخر السبعينات على اعتبار أن الجسور تبنى بشكل طبيعي على مساند تفصل المنشأ العلوي عن المنشأ السفلي لذلك يكون استخدام العزل أكثر سهولة منه في حالة الأبنية.

لقد تم اختراع المطاط المنخفض التخماد مع لب الرصاص LRB منذ بداية السبعينات، حيث يوفر هذا العازل خاصيتي المرونة والقدرة على تبديد الطاقة في نفس الوقت، ولكن تبين أن هذا العازل قد لا يكون صلب بشكل كافٍ لمقاومة الأحمال في الظروف الطبيعية كحمولة الرياح مثلاً. لذلك في بدايات الثمانينات تم اختراع المطاط عالي التخماد HDR، هذا النوع من العوازل يملك صلابة عالية من أجل تشوهات قص منخفضة ولكن هذه الصلابة تصبح صغيرة من أجل مستوى تشوه قص عالٍ. لقد تم عزل أول بناء وأول جسر في الولايات المتحدة الأمريكية باستخدام المطاط LRB و HDR.

في بعض المشاريع تم استخدام العوازل التي تعمل بالانزلاق بشكل موازٍ لمساند المطاط على اعتبار أن هذه العوازل لا تمتلك قوة إرجاع تعيد المنشأ لوضعه الأصلي بعد زوال الحدث الزلزالي. إلا أنه ومع تطور هذه الأنظمة وظهور عازل FPS فقد تم حل هذه المشكلة على اعتبار المنشأ يرتفع شاقولياً أثناء الحدث الزلزالي وبالتالي تنشأ قوة إرجاع تعيده لوضعه الأصلي. على الرغم من وجود عدد كبير من أنواع العوازل مثل المتدحرجات والكابلات... إلا أن الشركات المصنعة للعوازل تزود بمساند المطاط LRB، HDR وبالمساند التي تعمل بالانزلاق سواء على سطح أفقي Flat (Pure Friction) أو على سطح مقعر FPS.

2-8- ديمومة نظام العزل: Isolation system Durability

يتم تصنيع نظام العزل بشكل عام من مواد لا تستخدم بشكل تقليدي في الهندسة الإنشائية مثل المطاط الطبيعي أو الصناعي أو PTFE الذي يتم استخدامه في المساند التي تعمل بالانزلاق، والمعروف باسمه التجاري التفلون Teflon.

يعتبر المهندسون الإنشائيون أنه لا يوجد عمر تصميمي للعازل لذلك يتم اعتبار العمر الافتراضي له 50 عاماً أو أكثر. لقد تم استخدام مادة المطاط الطبيعي في المشاريع الهندسية منذ عام 1840

وبقي بعضها موجود لمدة قرن تقريباً. كما أن هناك مساند مصنوعة من المطاط الطبيعي تم استخدامها منذ عام 1940 ومازالت في الخدمة حتى يومنا هذا. لقد تم اختراع مادة التفلون عام 1938 وقد تم استخدامه بشكل كبير في كثير من التطبيقات منذ عام 1940، وهو أفضل مادة عرفها الإنسان من أجل مقاومة الصدأ والتآكل.

2-9- متى نستخدم العزل: When To Use Isolation

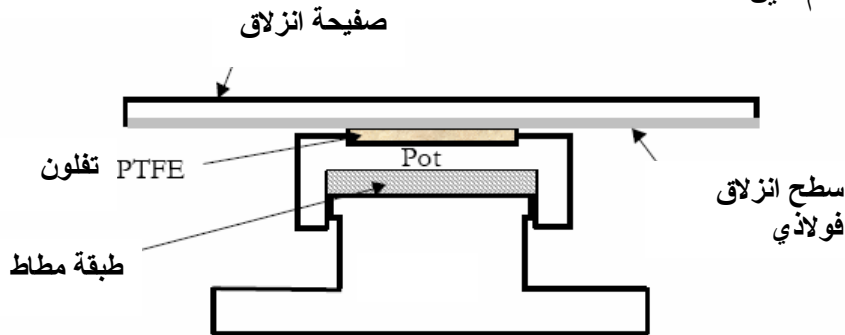
نستخدم العزل عندما يتميز نظام العزل هذا بفعالية واقتصادية أكبر من الطرق الأخرى المستخدمة من أجل الحماية الزلزالية. هناك مجموعة من العوامل يجب مراعاتها عند اعتماد العزل الزلزالي كإحدى الطرق المستخدمة للحماية الزلزالية:

1- وزن المنشأ: The Weight Of The Structure

إن غالبية أنظمة العزل المستخدمة تعمل بفعالية أكثر مع الكتل الثقيلة. وذلك لأنه من أجل الحصول على نظام عزل فعال فإننا نحتاج لتحقيق دور طويل للاستجابة، فدور العزل يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي للكتلة وعكساً مع الجذر التربيعي للصلابة وفق العلاقة [35]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (2-36)$$

ولكن بالنسبة للأنظمة التي تعمل بالانزلاق لا وجود لهذا الشرط أو القيد حيث $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$ لذلك يمكن أن يتم عزل الأبنية الخفيفة بهذا النظام. على أي حال، حتى هذه الأنظمة تبدو غير اقتصادية لحالة الأبنية ذات الوزن الخفيف وذلك لأسباب مختلفة. فبغض النظر عن وزن المبنى، يكون الانتقال هو نفسه من أجل دور فعال معطى وكذلك صفائح الانزلاق (Slide Plate) الميَّنة في الشكل (2-23)، والتي تعتبر الجزء الأكثر كلفة في جهاز العزل، إذ يكون لها الحجم نفسه سواء أكان المبنى خفيف أم ثقيل.



الشكل (2-23) مقطع في عازل Pot bearing [33]

2- دور المنشأ: The Period Of The Structure

أكثر المنشآت الملائمة للعزل هي المنشآت التي لها دور طبيعي قصير $T_s < 1\text{sec}$. مثلاً حالة الأبنية التي ارتفاعها أصغر من 10 طوابق أو المنشآت التي تكون مرنة مثل الإطارات الفولاذية المقاومة للعزوم والتي ارتفاعها أقل من 5 طوابق. يحدد غالباً مجال دور نظام العزل بـ $[1.5\sim 3.5\text{sec}]$. فعندما يكون دور اهتزاز المبنى أصغر من الواحد $T_s < 1\text{sec}$ ، فإننا نحقق الغاية المرجوة من نظام العزل أكثر منه عندما يكون الدور أكبر من الواحد [33].

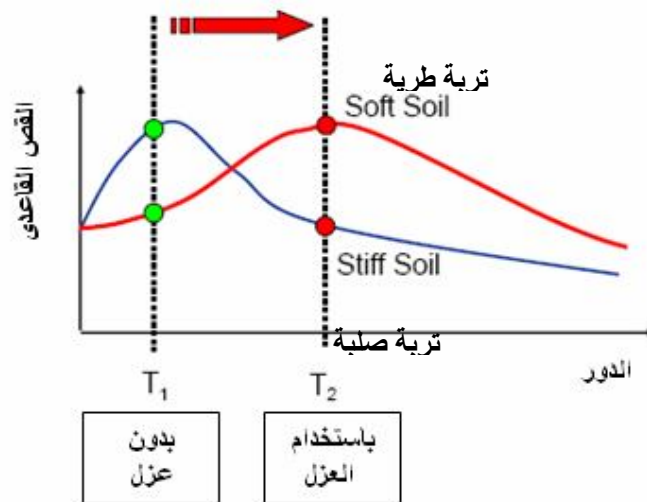
3- حالات زلزالية تسبب أمواج ذات دور طويل:

Seismic Conditions Causing Long Period Waves

هناك بعض الحالات التي يتم فيها انتقال طاقة الزلزال من المركز إلى موقع المنشأ على شكل أمواج ذات دور طويل. تحدث هذه الحالة غالباً في أحواض الترب الطمية والتي من الممكن أن تتسبب بحالة طنين في مجال دور العزل. لذلك فإن العزل في هذه الأماكن قد يكون أخطر من عدمه. مثال عن هذا النوع من الأمواج الزلزالية ما تم تسجيله في مدينتي المكسيك وبودابست [27,33].

4- حالة تربة التأسيس: Subsoil Condition

يكون أداء العزل أفضل في الأماكن التي تكون فيها تربة التأسيس صخرية أو صلبة. فالتربة الطرية لها تأثير مشابه للترب الطمية، لأنها تعدل من الأمواج الزلزالية بحيث يكون هناك زيادة في دور الحركة بالمقارنة مع الترب الصلبة. يبين الشكل (2-24) تأثير نوع التربة على المنشأ المعزول [27,33].



الشكل (2-24) تأثير نوع التربة على المنشأ المعزول.

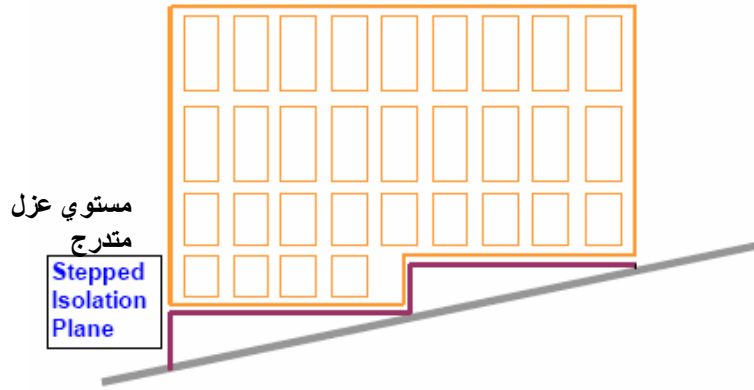
5- القرب من موقع الصدوع : Near Fault Effects

من أكثر الأمور المثيرة للجدل في موضوع العزل الزلزالي هو هل سيكون النظام قابلاً للعمل إذا ما حدث الزلزال في مكان قريب من المنشأ (ضمن مجال 5Km). إذ أنه من الممكن حدوث ظاهرة تسمى fling أي خروج المسند عن العمل نتيجة الانتقالات الكبيرة في الأماكن القريبة من المصدر الزلزالي، يتميز سجل التسارع الأرضي بنبضات (تذبذبات) بدور طويل وسرعة عالية (نبضة انتقالية واحدة أو أكثر بسرعة 0.5m/sec وفترات زمنية (1~3sec)). يمكن استخدام العزل الزلزالي في الأماكن القريبة من المركز السطحي للزلزال، ولكن الكلفة تكون أكبر والحساب أكثر تعقيداً، إذ أن أي منشأ يكون قريب من الصدوع يجب دراسته على ظاهرة fling (أي خروج العازل عن العمل)[33].

6- شكل (هيئة) المنشأ: The Configuration

إذا كانت الخصائص الديناميكية للمنشأ وظروف الموقع ملائمة للعزل الزلزالي، عندها يكون الأمر الأكثر أهمية هو شكل المنشأ، إذ أن شكل المنشأ يجب أن يسمح بإيجاد مستوي فصل أفقي ليحتوي نظام العزل (ما يسمى بمستوي العزل) الذي يزود المنشأ بالمرونة الأفقية اللازمة خلال الحدث الزلزالي، كما يجب أن يكون هناك حيزاً كافياً حول المنشأ ليسمح بحدوث الانتقالات الأفقية الجانبية، حيث تتراوح قيم الانتقالات المتوقع حدوثها ما بين 10cm في المواقع ذات الشدة الزلزالية المتوسطة والمنخفضة، إلى ما يقارب 1m في حالة المواقع ذات الشدة الزلزالية العالية والقريبة من المصدر الزلزالي، في حالة وجود عائق يعترض حركة العازل لن يعمل نظام العزل بشكل فعال وسوف يصطدم المنشأ مع المنشآت الأخرى المجاورة، وقد لا تظهر هذه الحالة في الأبنية الجديدة، إذ أنه من الممكن تصميم نظام العزل تبعاً للمسافة العظمى المتاحة، بينما هذا الأمر له أهميته في حالة المنشآت المقامة التي يعاد تأهيلها باستخدام نظام العزل.

تكون تفاصيل نظام العزل أبسط في الحالة التي يكون فيها مستوي العزل أفقياً ويكون أكثر تعقيداً وقد يسبب مشاكل في الحالة التي يكون فيها مستوي العزل مائلاً. يبين الشكل (2-25) مستوي عزل متدرج والذي يتطلب مستوي عزل شاقولي بالإضافة لمستوي العزل الأفقي[33].



الشكل (2-25) وضعية مستوى العزل على منحدر [33]

2-10-10- كلفة العزل القاعدي : Costs of Base Isolation

تعتبر كلفة العزل إحدى الأسئلة المطروحة من قبل المهندسين الذين يأخذون بالاعتبار استخدام العزل الزلزالي القاعدي.

في أغلب الأحيان، تكون كلفة المبنى الجديد المعزول أكثر من كلفة المبنى غير المعزول بحوالي (0~5%) من الكلفة الكلية أو أكثر [33]، ويصمّم المنشأ من أجل مستوى عالٍ من الأداء أكثر منه في حالة الأبنية غير المعزولة، إذ أنه في حالة الأبنية المعزولة لا يتم الاستفادة بشكل كامل من تخفيض القوى التي يتم تصميم المنشأ العلوي على أساسها. (يتم اعتبار اللدونة أقل بمقدار 1.5 مرة من حالة المنشآت غير المعزولة)، وهذا يعني زيادة في كلفة المنشأ المعزول. أما في حالة المنشآت التي يعاد تأهيلها، فإن استخدام العزل قد يكون أكثر اقتصادياً من وسائل التقوية الأخرى [33].

2-10-10-1 كلفة الدراسة الهندسية والتصميم والتوثيق (المذكورة):

Engineering, Design and Documentations Costs

إذ يتطلب المنشأ المعزول الكثير من الجهود الإضافية من أجل التحليل، التصميم، تفاصيل المذكرة الحسابية. على سبيل المثال يتم اختيار نوع التحليل تبعاً لشكل ونوع المبنى ومكانه. فهناك بعض الأبنية يمكن تحليلها باستخدام الطريقة التحليلية الستاتيكية المكافئة، أو طريقة أطياف الاستجابة. ولكن هناك بعض الأبنية تحتاج لاستخدام طريقة السجل الزمني. على الرغم من أن الأبنية معزولة تتطلب نفس طرق تحليل الأبنية غير المعزولة إلا أن كلفة تحليل الأبنية المعزولة تبقى أكبر.

2-10-10-2 كلفة العوازل : Costs of The Isolators

هناك مجال واسع لكلفة العوازل، بالنسبة للغالبية العظمى من العوازل، تتأثر الكلفة بالانتقال الأعظمي والحمولة التي يستطيع العازل تحملها. فمثلاً من أجل مستوى معطى للحمولة الزلزالية،

تكون الانتقالات متناسبة مع دور العزل، لذلك فإن زيادة دور العزل سيزيد الكلفة حتماً، حيث تراوحت كلفة الجهاز الواحد ما بين (\$10000~500) كما تم تقديرها عام 2001 [33]. إن الكلفة الكلية لنظام العزل تعتمد على فعالية طبقة العزل. بشكل عام كلما ازدادت قيمة الحمولة العظمى التي يتحملها العازل كانت فعالية العزل أكبر. على سبيل المثال، تشكل الكلفة الكلية لنظام متوضع على 50 عازلاً في منطقة ذات شدة زلزالية عالية حوالي 20~40% من كلفة منشأ له نفس الوزن متوضع على 100 عازل [33].

2-10-3- كلفة التغييرات الإنشائية: Costs Of Structural Changes

إن كلفة التغيير في شكل الجملة الإنشائية تشكل جزءاً أساسياً في الكلفة الأولية وهو تابع لمخطط المنشأ. فمثلاً يمكن عزل المبنى الذي يحوي قبو تحت مستوى الطابق الأرضي مع زيادة بسيطة في الكلفة، بينما يتطلب المبنى الموجود على منحدر كلفة أكبر بكثير من الحالة السابقة إذ يكون هناك مستوي عزل أفقي وآخر شاقولي (مستوي عزل متدرج). تشكل كلفة التغييرات الإنشائية حوالي 1~3% من الكلفة الإنشائية [33].

2-10-4 التغييرات المعمارية، عناصر الخدمة غير الإنشائية:

Architectural Changes, Services and Non-Structures Items

تشكل تكلفة إنشاء حيز حول المبنى كلفة إضافية (إنشاء خندق حول المبنى بعرض مساوٍ على الأقل للانتقال الأعظمي المحتمل) وهذا يتطلب اعتبار تفاصيل خاصة وخصوصاً فيما يتعلق بالدخول للمبنى. وكما هو الحال بالنسبة لكلفة التغييرات الإنشائية، فإن التغييرات المعمارية تشكل حوالي 1~3% من الكلفة الإنشائية [33].

2-11- كودات التصميم للمنشآت المعزولة زلزالياً:

The codes and guidelines for design of structures with seismic base isolation

لقد تم تطوير كودات التصميم للمنشآت المعزولة زلزالياً منذ عام 1980 من قبل اللجنة الفرعية لجمعية المهندسين الإنشائيين في كاليفورنيا الشمالية ، (Structural Engineers Association of Northern California SEAONC). إذ أنه في عام 1986 نشرت (SEAONC) قواعد بسيطة للتصميم تحت عنوان متطلبات تصميم العزل الزلزالي الأولية.

”Tentative Seismic Isolation Design Requirements“ وهو ما عرف بالكتاب الأصفر [28] Yellow Book.

اعتمد الكتاب الأصفر بشكل أساسي على طرق التحليل الستاتيكية المكافئة، المطروحة في الإصدارات المختلفة لـ Uniform Building Code (UBC) ، ثم عدل الكتاب الأصفر

وأصبح إصدار عام 1991 للـ "Earthquake Regulations for Seismic-Isolated UBC Structures" ، وقد شرحت الإصدارات 1994 و 1997 هذا الموضوع بالتفصيل. ثم طور الإصدار 1997UBC ليصبح كود البناء العالمي IBC2000 وهو كود معقد للغاية يعتمد بشكل أساسي على الطرق الديناميكية للتصميم.

فيما يتعلق بإعادة تأهيل الأبنية الموجودة وحمايتها زلزالياً فقد تم طرحه في دليل National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) من أجل إعادة تأهيل الأبنية FEMA-273 وتفسيره في FEMA-356 وقد تم نشرهم من قبل Federal Emergency Management Agency . بالإضافة للكودات التصميمية، تم طرح مراجع متنوعة حول موضوع العزل الزلزالي. حيث قدم [28] Naeim and Kelly في كتابهم معلومات مفصلة حول مكونات العزل الزلزالي الحالية، ويمكن اعتبار هذا الكتاب دليلاً لفهم مبادئ العزل الزلزالي، والإجراءات المستخدمة في تصميم المنشآت المعزولة زلزالياً.

هناك مرجع آخر في مجال العزل الزلزالي أكثر تطوراً طرح من قبل [34] Skinner, Robinson and McVerry حيث عرض فيه المفاهيم النظرية بشكل مفصل أكثر. فقد ركز هذا الكتاب على التحليل الرياضي للاستجابات الزلزالية للمنشآت المعزولة، مناقشة أنظمة العزل والمنهجية المطلوبة من أجل تزويد المهندسين المصممين لأنظمة العزل بقيم متحولات العازل الأولية.

2-12- فلسفة تصميم الأبنية المعزولة:

Philosophy of Designing Isolated Building

تتجلى فلسفة تصميم الأبنية المعزولة بالآتي:

- لا يسمح بحدوث أضرار في العناصر الإنشائية، غير الإنشائية والمحتويات تحت تأثير الزلازل المتوسطة الشدة والضعيفة.
- أما بالنسبة للزلازل ذات الشدة العالية فيجب أن تتحقق الشروط الآتية:
- لا يسمح بحدوث أي فشل في نظام العزل.
- ألا يحدث ضرر في العناصر الإنشائية و غير الإنشائية.
- استمرارية عمل المنشأ أثناء وبعد الحدث الزلزالي.
- حماية الحياة البشرية.

2-13- إجراءات التحليل وتوصيات IBC2000 بالنسبة للمنشآت المعزولة:

Analysis Procedures and Provisions of IBC 2000 for Base isolated Buildings:

على اعتبار أنه لا توجد توصيات في الكود العربي السوري بخصوص المنشآت المعزولة فقد اعتمد الإجراء التصميمي للأبنية المعزولة بشكل أساسي على توصيات كود البناء العالمي IBC2000 . يعتمد هذا الكود طرائق التحليل المستخدمة من أجل تصميم المنشآت غير المعزولة وتتضمن مايلي:

■ التحليل الستاتيكي (الطريقة الستاتيكية المكافئة):

- يستخدم هذا التحليل من أجل التصميم النهائي للأبنية المعزولة المحققة لبعض الشروط.

- يستخدم من أجل حساب الحدود الدنيا للانتقالات وقوى المنشأ.

- يستخدم دوماً من أجل التصميم الأولي لنظام العزل.

■ التحليل الديناميكي:

- يستخدم هذا التحليل من أجل تصميم أي منشأ معزول مهما كان نوعه.

- يجب استخدامه من أجل المنشآت المعقدة هندسياً.

ويتضمن إما تحليل طيف الاستجابة (خطي)، أو تحليل السجل الزمني (خطي أو لاخطي).

2-13-1 التحليل الستاتيكي (الطريقة الستاتيكية المكافئة)

يستخدم التحليل الستاتيكي من أجل حساب الحدود الدنيا للانتقالات الجانبية وقوى المنشأ. بشكل عام، يجب أن يصمم نظام العزل من أجل أن يقاوم الانتقالات الجانبية الصغرى الناتجة عن الزلزال D_D (minimum lateral earthquake displacement) التي من الممكن أن تحدث وفق أي اتجاه من الاتجاهات الأفقية الرئيسية للمنشأ وتحسب من العلاقة الآتية [27]:

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \frac{S_{DI} T_D}{B_D} \quad (2-37)$$

حيث B_D معامل عددي يتعلق بالتخامد الفعال β_{eff} لنظام العزل والموافق للانتقال التصميمي كما يبين الجدول (2-1).

g : تسارع الجاذبية.

S_{DI} = Design 5% damped spectral acceleration at 1 sec. period
قيمة التسارع الطيفي التصميمي بنسبة تخامد 5% والموافق للدور 1sec.

T_D : دور العزل الموافق للانتقال التصميمي.

الجدول (2-1) معامل التخامد

التخامد الفعال β_{eff}	B_D
<2%	0.8
5%	1.0
10%	1.2
20%	1.5
30%	1.7
40%	1.9
>50%	2.0

من أجل قيم التخامد غير الواردة في هذا الجدول يمكن استخدام التناسب الخطي لإيجاد قيم B_D الموافقة. كما يمكن استخدام العلاقة التالية التي تعطي قيمة قريبة جداً من القيم الواردة في الجدول [27]:

$$\frac{1}{B_D} = 0.25(1 - \ln \beta) \quad (2-38)$$

يعطى دور العزل للمنشأ المعزول T_D بالعلاقة [27]:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_2 \cdot g}} \quad (2-39)$$

حيث: W الحمولة الميتة (الدائمة) للمنشأ العلوي.

K_2 : الصلابة الجانبية لنظام العزل.

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

إن الانتقال التصميمي الكلي D_{TD} لجملة نظام العزل والمتضمن الانتقال الإضافي الناتج عن الفتل الفعلي والطارئ المحسوب باعتبار توزيع خاص للصلابة الجانبية لنظام العزل والتوضع غير المرغوب به لمركز الكتلة. يجب أن يحقق D_{TD} العلاقة الآتية [27]:

$$D_{TD} \geq D_D \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \geq 1.1D_D \quad (2-40)$$

حيث:

d : البعد الصغير في المسقط الأفقي

b : البعد الطويل في المسقط الأفقي.

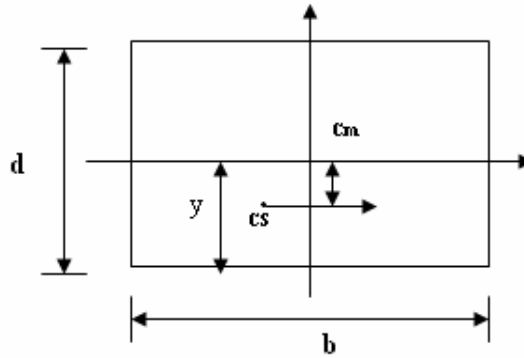
e : اللامركزية الفعلية مضافاً إليها لامركزية طارئة (5% من بعد المبنى في الاتجاه المتعامد مع اتجاه الحمولة الزلزالية) .

لقد سمحت كودات التصميم أيضاً بتخفيض أكبر لقيمة الانتقال التصميمي الكلي من خلال استبدال قيمة الانتقال D_D الوارد في العلاقة (2-40) بالقيمة D'_D . حيث تعطى D'_D بالصيغة الآتية [27]:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (2-41)$$

هنا: T : دور الاهتزاز للمنشأ غير المعزول.

T_D : دور العزل لمنشأ معزول زلزالياً من أجل الانتقال التصميمي ويقدر بالثانية.



الشكل (2-26) أبعاد المسقط للمنشأ من أجل حساب D_{TD} [28]

يصمم المنشأ السفلي الواقع تحت نظام العزل ليقاوم قوة قص كلية صغرى V_b تعطى بالمساواة الآتية [27]:

$$V_b = K_2 \cdot D_D \quad (2-42)$$

في حين يصمم المنشأ العلوي الواقع فوق نظام العزل ليقاوم قوة قص كلية صغرى V_s تعطى بالعلاقة التالية [27]:

$$V_s = \frac{K_2 \cdot D_D}{R_1} \quad (2-43)$$

حيث: R_1 هو عامل تخفيض الحمولة الزلزالية والذي يشبه وينظر المعامل R الذي يستخدم في المنشآت غير المعزولة.

افتترضت الـ FEMA273 (Federal Emergency Management Agency) قيمة R_1 مساوية للواحد (أي أن المنشأ يتشوه ضمن المجال المرن)، بينما اعتبر IBC2000 أن المنشأ يدخل في المجال غير المرن ويمكن اعتبار العامل R_1 كالتالي [27]:

$$1.0 \leq R_1 = \frac{3}{8} R \leq 2 \quad (2-44)$$

تعطى قوة القص الكلية V_s والتي توزع على كامل ارتفاع المنشأ بالعلاقة [27]:

$$F_x = \frac{V_s W_x h_x}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} \quad (2-45)$$

حيث:

W_i : وزن المنشأ المركز عند المنسوب i ، أو الناجم عن وزن المنسوب i فقط.

W_x : الحمولة الشاقولية الميئة المركزة عند المنسوب x والناجمة عن وزن هذا المنسوب فقط.

h_i : ارتفاع المنسوب i عن القاعدة السفلية للمنشأ.

h_x : ارتفاع المنسوب x عن القاعدة السفلية للمنشأ.

2-13-2- التحليل الديناميكي:

2-13-2-1- التحليل باستعمال طيف الاستجابة:

يستخدم طيف الاستجابة التصميمي والذي يتم تعديله تبعاً للمنطقة الزلزالية ونوع التربة التي سيقام المنشأ المعزول عليها. يطبق هذا الطيف وفق اتجاهين متعامدين للمنشأ. فبينما يطبق هذا الطيف بعد ضربه بعامل تصعيد مساوٍ للواحد في أحد الاتجاهين، يضرب هذا الطيف بعامل مساوٍ لـ 0.3 وفق الاتجاه المتعامد معه الآخر. وبذلك سيكون هناك تركيبان مختلفان للحمولة الزلزالية المطبقة على المنشأ وسيتم اختبار النتائج الناتجة عن كل حالة. ومن ثم يتم اعتبار الحالة التي تعطي النتائج الأكثر حرجاً.

2-13-2-2- التحليل باستعمال التاريخ الزمني:

يجب أن يتم انجاز التحليل السجل الزمني باستعمال التاريخ الزمني لأزواج من المركبات المناسبة للتاريخ الزمني لحركة الأرض الأفقية التي يتم انتقاؤها وضبطها مما لا يقل عن ثلاثة أحداث زلزالية مسجلة. إذا تم تحليل المنشأة لثلاثة تواريخ زمنية فإن الاستجابة العظمى لكل ناتج (بارامتر) موضوع الاهتمام يجب استعمالها في التصميم. وإذا تم تحليل المنشأة باستعمال ما لا يقل عن سبعة تواريخ زمنية فيمكن أن يؤخذ في التصميم القيمة الوسطية لنواتج الاستجابة موضوع الاهتمام.

عند استخدام طرق التحليل الديناميكي يمكن استخدام الانتقال التصميمي والقوة التصميمية والتي هي أصغر من القيم التي تعطيها العلاقتين السابقتين (2-40) و (2-43) وفق ما هو مبيّن في الجدول (2-2). فعندما تكون قيمة قوة القص القاعدي المطبقة على العناصر الإنشائية أو قيمة

الانتقال التصميمي ، والمحسوبة باستخدام طريقة أطياف الاستجابة أو تحليل السجل الزمني أصغر من القوة الموصوفة في الجدول (2-2) فعندها يجب معايرة بارامترات الاستجابة (قيم قوى وعزوم العناصر) من خلال معامل التعادل أو ما يسمى بمعامل المعايرة (scaling factor).

الجدول (2-2) حدود المعايرة وفق IBC2000

		تحليل أطياف الاستجابة	تحليل السجل الزمني
مبنى منتظم	V_s	$\geq 0.8V_s$	$\geq 0.6V_s$
	D_{TD}	$\geq 0.9D'_{TD}$	$\geq 0.9D'_{TD}$
مبنى غير منتظم	V_s	$\geq 1.0V_s$	$\geq 0.8V_s$
	D_{TD}	$\geq 0.9D'_{TD}$	$\geq 0.9D'_{TD}$

حيث: V_s : قوة القص الناتجة من التحليل الديناميكي.

D_{TD} : الانتقال الكلي الناتج من التحليل الديناميكي.

في جميع الحالات يجب ألا تقل قيمة قوة القص V_s عن القيمة العظمى مما يلي:

1- قوة القص المحسوبة من أجل منشأ غير معزول له نفس الوزن ودور مساوٍ لدور العزل.

2- قوة القص الموافقة لحمولة الرياح التصميمية المصعدة.

3- مرة ونصف من الحمولة الجانبية المطلوبة من أجل تفعيل كلي لنظام العزل. وتعتبر هذه الحمولة

(حمولة التلدن في المطاط والحمولة الموافقة لعتبة الانزلاق في العوازل التي تعمل بالانزلاق).

2-14- الإزاحة الطابقية: Story drift

إن الإزاحة الطابقية العظمى (الانتقال النسبي بين الطوابق المتجاورة) الذي يسمح به IBC2000

هو تابع للطريقة المستخدمة في التحليل:

1- طريقة التحليل الستاتيكي: إن الإزاحة عند أي منسوب x يحسب من العلاقة [27]:

$$\delta_x = \frac{R_1 \delta_{se}}{I_E} \quad (2-46)$$

ويجب ألا تتجاوز هذه القيمة $0.015h_{sx}$. حيث h_{sx} ارتفاع الطابق الواقع تحت المنسوب x .

δ_{se} : تشكل الإزاحة المحسوبة من التحليل الستاتيكي المرن و I_E هو عامل أهمية المنشأ.

2- تحليل باستعمال طيف الاستجابة: يجب ألا تتجاوز الإزاحة المحسوبة بالاعتماد على طريقة طيف الاستجابة القيمة $0.015h_{sx}$.

3- طريقة السجل الزمني: يجب أن لا تتجاوز قيمة الإزاحة المحسوبة بالاعتماد على طريقة السجل الزمني وباعتبار السلوك اللاخطي للعوازل عند أي منسوب القيمة $0.02h_{sx}$. حيث h_{sx} ارتفاع الطابق الواقع تحت المنسوب x . يجب اعتبار تأثيرات $P-\Delta$ عندما تتجاوز نسبة الإزاحة الطابقية النسبية $0.01/R_1$.

الفصل الثالث

الدراسات المرجعية حول أنظمة العزل الزلزالي والنتائج التي

تم التوصل إليها

The reference studies about seismic isolation systems and their results

3-1- مقدمة: Introduction

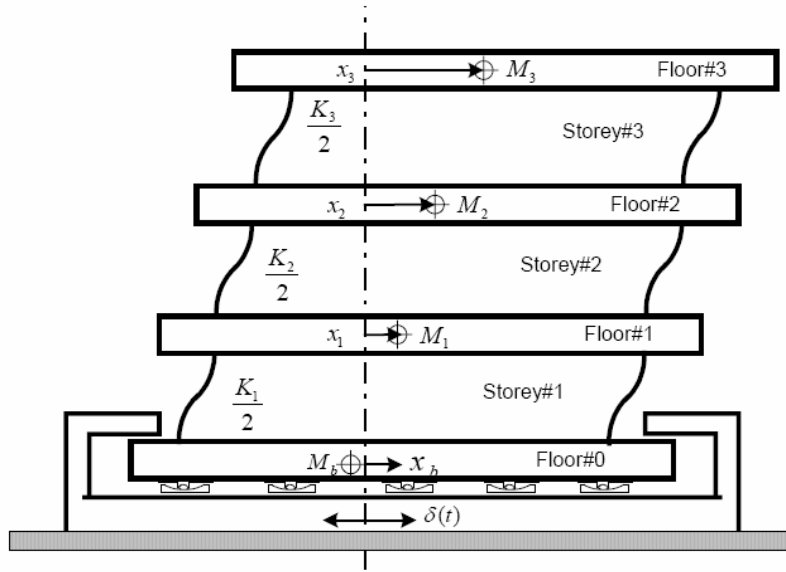
تم اعتماد أنظمة العزل الزلزالي في الأماكن المعرضة للخطر الزلزالي كوسيلة لتخفيف الاستجابة الزلزالية وبالتالي تقليل الأضرار التي من الممكن أن تصيب العناصر الإنشائية وغير الإنشائية. سوف نستعرض فيما يلي بعض الدراسات حول أنظمة العزل الزلزالي والنتائج التي تم التوصل إليها.

3-2- الدراسات المرجعية: Reference Studies

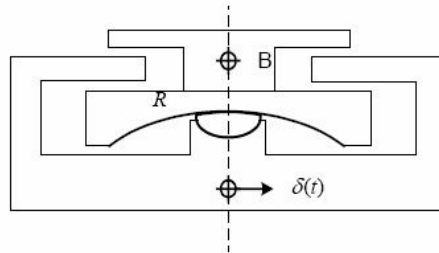
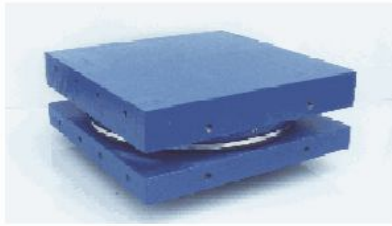
1- لقد درس الباحثون Youssef, Nuttali, Rahman, Hata استجابة Los Angeles City Hall المؤلف من 32 طابقاً وقد تم عزله بواسطة عوازل المطاط. أظهرت الدراسة أن التسارع الأعظمي انخفض بمقدار ثلاث مرات تحت تأثير زلزال السينترو.

2- لقد قدم Mauricio و Maria [22] دراسة تجريبية لمبنى مؤلف من أربعة طوابق معزول بواسطة عوازل المطاط عالي التخماد. أظهرت النتائج التجريبية انخفاضاً واضحاً للتسارع الأعظمي مقارنةً بالمبنى غير المعزول (حوالي 1 ~ 3.5 مرة وذلك تبعاً لقيمة التسارع الأعظمية للزلزال المحرض وخصائصه).

3- أجرى الباحثان [18] Melik DÖlen, Halit Kaplan دراسة لمبنى بيتوني مؤلف من ثلاثة طوابق تم عزله باستخدام عازل النواس الاحتكاكي (FPS) الشكلين (3-1), (3-2) وذلك تحت تأثير زلزال El-Centro .



الشكل (3-1) مقطع جانبي في مبنى معزول بواسطة عازل النواس الاحتكاكي



(a) عازل النواس الاحتكاكي

(b) مقطع في عازل النواس الاحتكاكي

الشكل (3-2) عازل النواس الاحتكاكي

وقد تبين أن نظام العزل المذكور خفض قيمة الانتقال الأعظمي بنسبة 33.33% وقيمة التسارع الأعظمي بنسبة 68.75%.

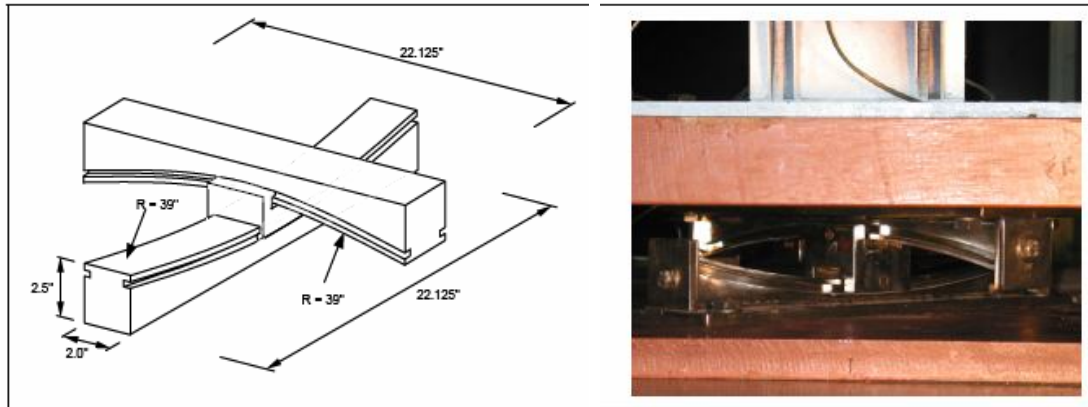
4- استخدم الباحث [37] M. Ilkay Urgu أنظمة العزل الزلزالي (المطاط منخفض التخماد مع لب الرصاص LRB والمطاط عالي التخماد HDR والنواس الاحتكاكي FPS) (HDR, LRB, FPS) في عزل مبنى بيتوني مؤلف من أربعة طوابق أبعاد مسقطه 15X15m ، وزنه 1510 ton وتحت تأثير زلزال 1999 DÜzce وقد توصل للنتائج المبينة في الجدول (3-1):

الجدول (3-1) مقادير الاستجابة للمبنى

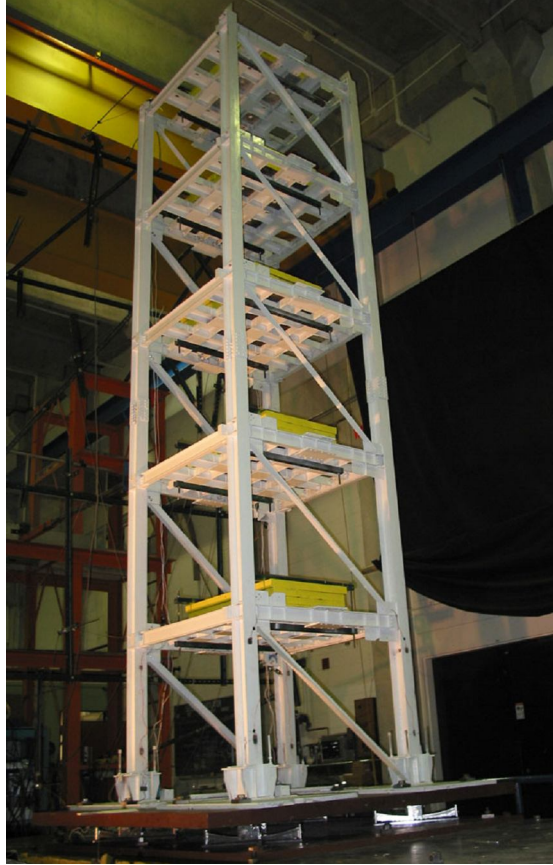
بعد العزل			قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
HDR	LRB	FPS				
0.2346	0.1518	0.1566	0.1629	4	m	Maximum Floor Displacements الانتقال الطائقي الأعظمي
0.2322	0.1491	0.1528	0.1332	3		
0.2276	0.1445	0.1504	0.0895	2		
0.2202	0.1379	0.1479	0.0365	1		
0.2113	0.1315	0.1424	0	base		
6.82	8.77	10.75	16.97	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration التسارع المطلق الأعظمي
7.39	8.18	8.72	14.34	3		
7.82	7.7	7.16	8.64	2		
7.53	7.15	7.2	5.95	1		
7.07	8.17	7.48	7.395	base		
241	176	213	879		ton	القص القاعدي

وبذلك يمكن القول إن نظام النواس الاحتكاكي (FPS) خفض قيمة الانتقال الأعظمي، قيمة التسارع الأعظمي وقيمة القص القاعدي بنسبة 3.86% ، 36.66% ، و 75.78% على التوالي.

5- اقترح العالم [9] Constantinou عازل نواس احتكاكي يمنع حدوث شد (رفع) XY-FP الشكل (3-3)، ثم قام بدراسة تحليلية وتجريبية لنموذج منشأ مؤلف من 5 طوابق تم عزله باستخدام هذا النظام الشكل (3-4). وقد أثبت هذا النظام فعاليته في منع حدوث شد (رفع) وبالتالي استقرار أكبر للمنشأ.



الشكل (3-3) عازل نواس احتكاكي يمنع حدوث شد



الشكل(3-4) نموذج معزول زلزالياً مؤلف من خمسة طوابق (University at Buffalo)

6- لقد درس [13] R.S.Jangid في المعهد الهندي للتكنولوجيا في بومباي (الهند) الاستجابة الزلزالية لمبنى متعدد الطوابق معزول بواسطة FPS تحت تأثير حركات زلزالية مرصودة بالقرب من منطقة الفالق الزلزالي (near-fault motions). يظهر الجدول(3-2) قيمة التسارع الأعظمي لهذه الحركات الزلزالية.

الجدول(3-2) قيمة التسارع الأعظمي للحركات الزلزالية

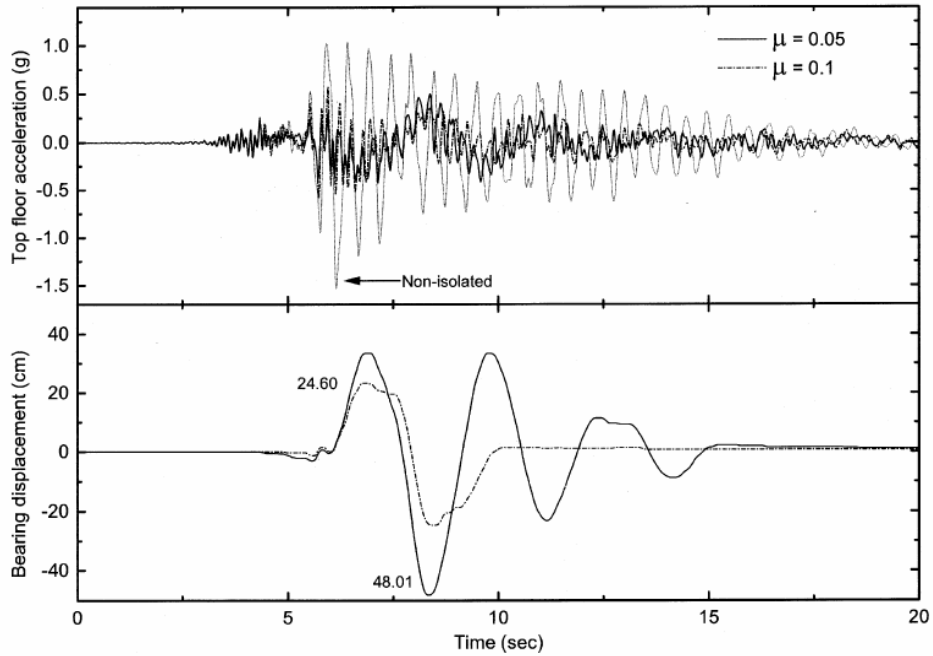
التسارع الأعظمي (g)	الزلازل المحرض
0.72g	1994 Northridge (Sylmar)
0.7g	1994 Northridge (Newhall)
0.36g	1979 Imperial Valley(Array#5)
0.71g	1992 Landers(Lucerene)
0.87g	1994 Northridge (Rinaldi)
0.45g	1979Imperial Valley(Array#7)
0.64g	Average

درس الباحث تأثير معامل الاحتكاك لعازل النواس الاحتكاكي على استجابة التسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي للمبنى المعزول (انتقال العازل).

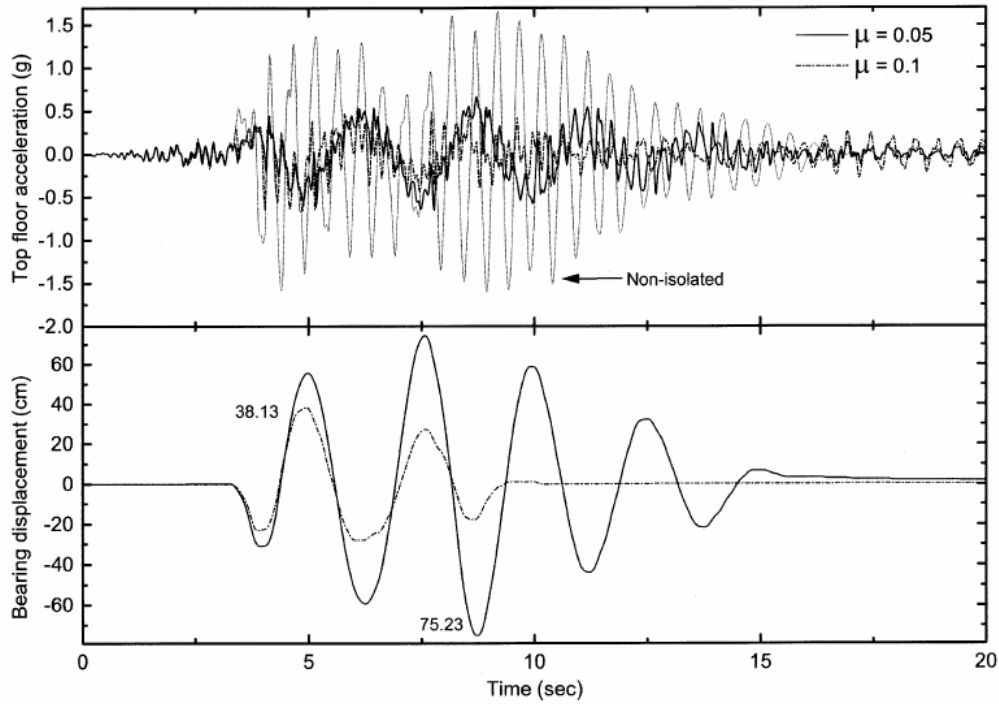
أظهرت الدراسة أن القيم الصغيرة لمعامل الاحتكاك تسبب انتقالات كبيرة في العازل، وكلما زادت قيمة معامل الاحتكاك انخفضت قيمة الانتقال القاعدي.

يبين الشكلان (3-5)،(3-6) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي في مبنى معزول مؤلف من خمسة طوابق، دوره الأساسي $T_s=0.5\text{sec}$ ، وتخامده $\xi_s = 0.02$ تحت تأثير زلزالي

تأثير زلزالي 1994 Northridge (Sylmar) و Imperial Valley, 1979 (Array#5) وذلك من أجل معاملي الاحتكاك $\mu=0.05$, $\mu=0.1$ ودور عزل $T_D=2.5\text{ sec}$.

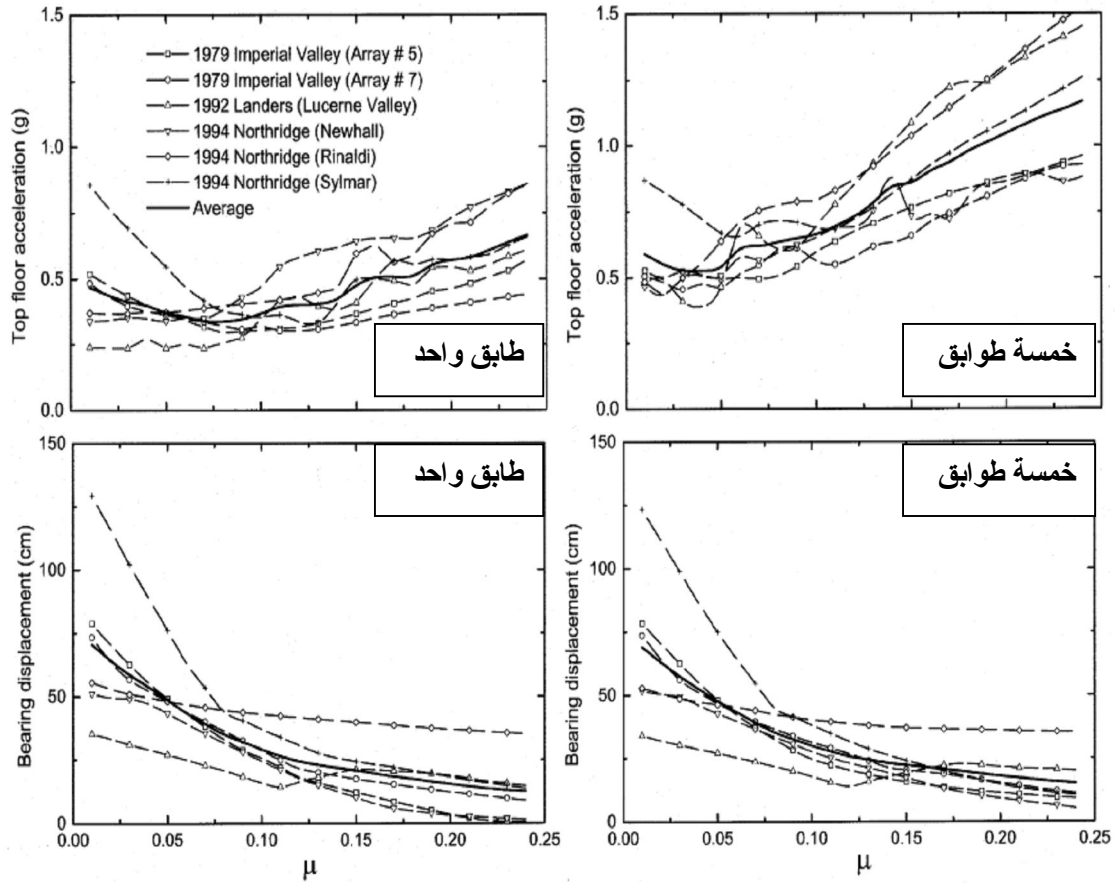


الشكل (3-5) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي في مبنى معزول مؤلف من خمسة طوابق تحت تأثير زلزال 1979 Imperial Valley(Array#5)



الشكل (3-6) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي في مبنى معزول مؤلف من خمسة طوابق تحت تأثير زلزال 1994 Northridge (Sylmar)

يظهر الشكلان السابقان أن هناك نفس التخفيض لقيمة التسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج المدروس من أجل كل من قيم الاحتكاك التي تم اختيارها. ولكن هناك اختلاف واضح في قيمة الانتقال القاعدي، إذ نلاحظ انخفاض قيمة الانتقال القاعدي من 75.23cm الموافقة لقيمة احتكاك $\mu=0.05$ إلى 38.13cm الموافقة لقيمة معامل الاحتكاك $\mu=0.1$ وذلك وفق المحور X. يمثل الشكل (3-7) التغيير في قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وكذلك الانتقال القاعدي (لمنشأ مؤلف من طابق واحد وآخر مؤلف من خمسة طوابق، الدور الأساسي لكلا المبنيين $T_s=0.5\text{sec}$) تبعاً لتغيير قيمة معامل الاحتكاك تحت تأثير الحركات الزلزالية المذكورة في الجدول السابق (3-2). من دراسة هذا الشكل يتبين أنه توجد قيمة لمعامل الاحتكاك تكون من أجلها قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق أصغرية، وذلك على اعتبار أن التسارع المطلق لأعلى طابق يتناقص أولاً حتى يصل إلى قيمة صغرى ومن ثم يعود ليزداد مع زيادة معامل الاحتكاك.



الشكل (3-7) التغير في قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وكذلك الانتقال القاعدي تبعاً لقيمة معامل الاحتكاك لمنشأ مؤلف من طابق واحد وآخر مؤلف من خمسة طوابق

لقد توصل الباحث إلى أنّ قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق تصبح قيمة صغرى من أجل معامل احتكاك مساوٍ لـ 0.08 و 0.04 وذلك لحالة مبنى مؤلف من طابق واحد ومبنى مؤلف من خمسة طوابق على الترتيب.

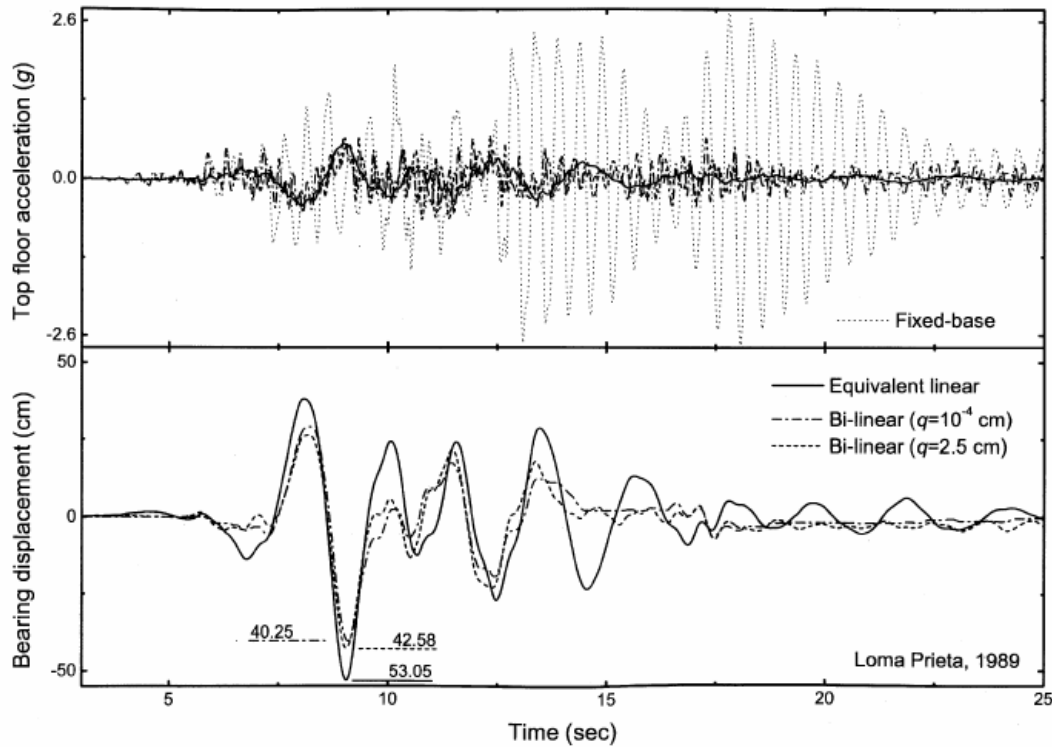
كما قام الباحث بحساب القيمة المثلى لمعامل الاحتكاك بناءً على تخفيض قيم كل من التسارع المطلق لأعلى طابق وقيمة الانتقال القاعدي. بشكل عام تقع قيمة معامل الاحتكاك المثلى في المجال (0.05~0.15)، وذلك من أجل هذا النوع من الحركات الزلزالية.

لم تقتصر دراسته على الأبنية المتعددة الطوابق المعزولة بل درس أيضاً استجابة جسر معزول زلزالياً بواسطة الـ FPS وقد تبين بأن هناك قيمة لمعامل الاحتكاك تكون من أجلها قيمة كل من القص القاعدي والتسارع المطلق لبلاطة الجسر أصغرية.

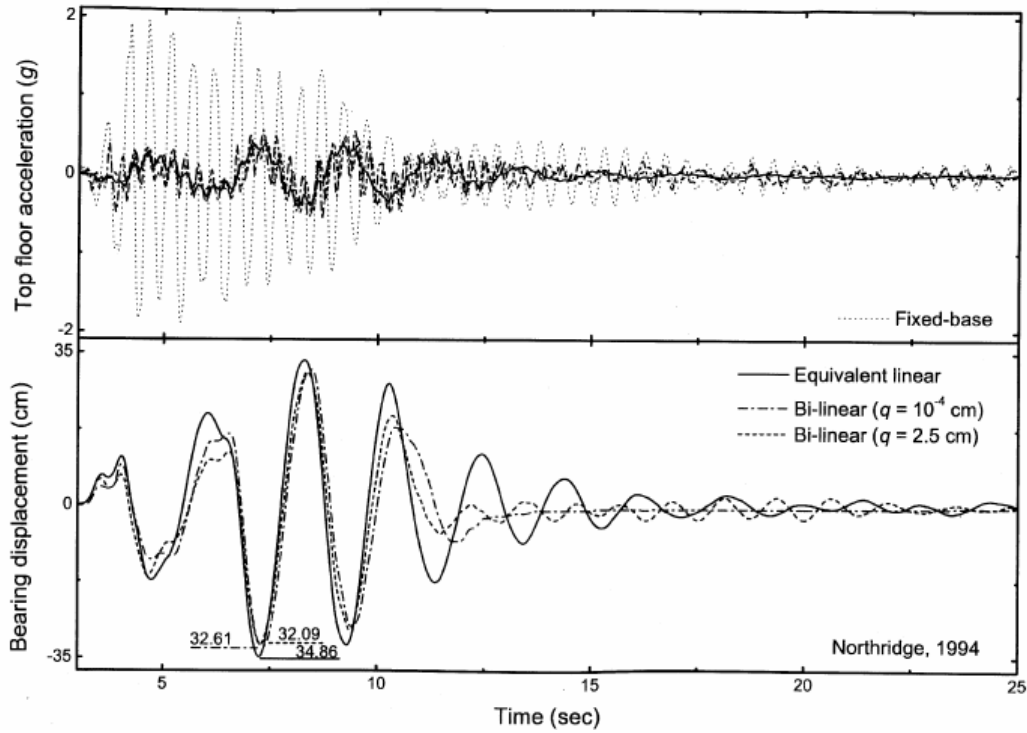
7- قدم [8] Ivo Calio et al دراسة حول استجابة الأبنية المتعددة الطوابق المعزولة بواسطة أنظمة العزل التي تعمل بالانزلاق ومقارنتها مع الأبنية غير المعزولة، كما درس أثر معامل الاحتكاك على الاستجابة الزلزالية.

8- درس الباحثان [23] Vasant A.Matsagar , R.S.Jangid تأثير الانتقال اللدن (q) على استجابة المنشأ المعزول متعدد الطوابق وقد تبين بأن القيم المنخفضة لهذه القيمة تؤدي إلى زيادة قيمة التسارعات (التسارع المطلق للطابق العلوي). وكذلك تأثير زيادة مرونة المنشأ العلوي وقد أظهرت الدراسة بأن زيادة مرونة المنشأ العلوي تؤدي إلى زيادة التسارعات ولا تتأثر قيم الانتقال عند القاعدة بزيادتها.

يوصي الكود الـ (Uniform Building Code) UBC و (International Building Code) IBC بأنه من الممكن استبدال صفة اللاخطية لعلاقة قوة - انتقال بنموذج خطي مكافئ وذلك من خلال استخدام الصلابة الخطية المكافئة والتخامد المكافئ وعندها نحصل على انتقال قاعدي أكبر وتسارع مطلق أعلى طابق أقل منه في حالة النموذج الخطي مقارنة مع النموذج الثنائي الخطية الشكلين (3-8) و (3-9).



الشكل (3-8) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي في مبنى معزول مؤلف من خمسة طوابق تحت تأثير زلزال لوما بريتا 1989



الشكل (3-9) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي في مبنى معزول مؤلف من خمسة طوابق تحت تأثير زلزال 1994 Northridge (Sylmar)

9- عرض الباحثان [14] H.Kaplan و A.Seirge نظام عزل لحماية المنشآت من الزلازل يتألف من نظام الكرات المعدنية (Ball System) المزود بنظام نابض-حديقة (spring-cam) الشكل (3-10).



الشكل (3-10) عازل الكرات المعدنية

طبق الباحثان المذكوران جهاز العزل هذا على نظام مؤلف من درجة حرية واحدة وقد أظهرت استجابة النظام تخفيضاً بمقدار 20 مرة للقوة المنقولة إلى المنشأ [14].

10- في دراسة لاحقة للباحثين المذكورين تمت دراسة سلوك منشأ فولاذي مؤلف من 40 طابق أبعاد مسقطه 40×40m وارتفاعه 160m، تم عزله باستخدام نظام العزل هذا، تحت تأثير زلزالي Taft , El centro [15].

وقد تم التوصل للنتائج الآتية الموضحة في الجدول (3-3):

الجدول(3-3) مقادير الاستجابة للمنشأ

زلزال Taft			زلزال El-centro			
نسبة التخفيض	مبنى معزول	مبنى غير معزول	نسبة التخفيض	مبنى معزول	مبنى غير معزول	
95.34%	0.46	9.88	86.44%	1.78	13.3	التسارع المطلق لأعلى طابق (m/sec ²)
53.2%	0.225	0.48	52.88%	0.245	0.52	الانتقال لأعلى طابق (m)
86.56%	0.632*10 ⁷	4.7*10 ⁷	83.65%	1.03*10 ⁷	6.3*10 ⁷	قوة القص القاعدي (N)

إن استخدام نظام العزل المدروس لحالة منشأ الفولاذي أعطى تخفيضاً للقوة المنقولة إلى المنشأ الخاضع لزلزال Taft (M=7.7 1952) بمقدار 7.5 مرة و لزلزال El-centro (1940) بمقدار 6.1 مرة. (M=6.7)

11- قام الباحثان [17] H.Kaplan and A.Aydilek بإجراء مقارنة للسلوك الديناميكي لبناء بيتوني مؤلف من ثلاثة طوابق قبل العزل وبعد عزله بنظام الكرات المعدنية تحت تأثير زلزالي Taft , El centro [17].

وقد كانت النتائج كما يلي:

يمكن تخفيض قيم الانتقالات والتسارعات العظمى المحدثة والقوى المنقولة إلى المنشأ وفق الآتي:

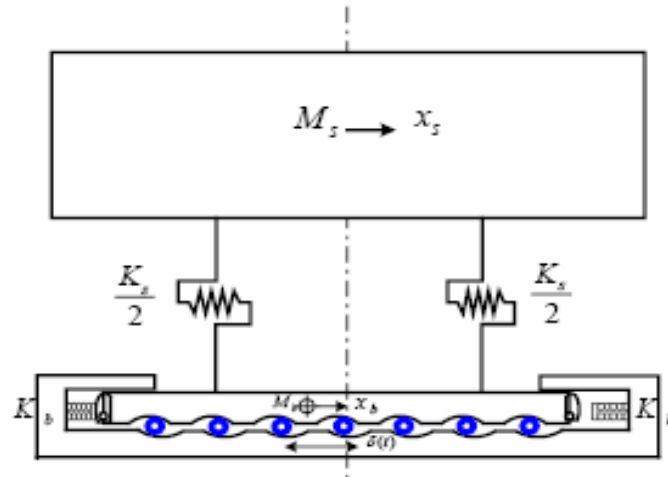
بتأثير زلزال El centro

خفض نظام الكرات قيم التسارع، قيم الانتقالات وقيم القوى القاصة بمقدار 93%، 24% و 87% على الترتيب .

بتأثير زلزال Taft

خفض نظام العزل هذا قيم التسارع، قيم الانتقالات وقيم القوى القاصة بمقدار 93% ، 47% و 94% على الترتيب.

12- كما أجرى الباحثان H.Kaplan et al [18] مقارنة بين سلوك نموذج تجريبي مؤلف من طابق واحد، معزول بنظام العزل هذا، تحت تأثير زلزال الـ Taft وسلوكه عندما لا يكون معزولاً.



الشكل (3-11) مقطع جانبي في نموذج معزول مؤلف من درجة حرية واحدة

قد توصلنا للنتائج الآتية الموضحة في الجدول (3-4):

الجدول (3-4) مقادير الاستجابة للنموذج المدروس

Case No	Description	Max Trans. Force [N]	Reduction Ratio $= \frac{F_0}{F_{case}}$ [times]	Max Str. Disp. [m]	Max Relative Disp. $[x_s - x_b]$ [m]	Max Base Disp. [m]	Max Relative Disp. $[x_b - \delta(t)]$ [m]
0	Rigid base support	166,290.0	1	0.2269	0.1386	0.0977	0
1	Unconstrained base on the balls	8127.6	20.46	0.1131	0.0068	0.1123	0.0605
2	Spring constrained base on the balls	1.0940	15.1	0.1216	0.0091	0.1198	0.0619
3	Base spring constrained after $b = 0.13$ [m]	8127.6	20.46	0.1184	0.0068	0.1159	0.0605

لقد تمت مناقشة الأنواع المختلفة لأنظمة العزل وإمكانية تطبيقها من قبل Kelly [19,20] ومن قبل Mayes و Buckle [7].

الفصل الرابع

التحليل الديناميكي للأبنية البيتونية المسلحة المعزولة زلزالياً

باستخدام نظامي الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي

Dynamic analysis of Seismic isolated concrete buildings by ball system and friction pendulum system

1-4 - مقدمة: Introduction

يحتاج المهندس عند تصميم أي منشأ لمعلومات حول سلوكه الحقيقي، وتختلف التفاصيل المطلوبة بحسب نوعية التصميم (هل هو تصميم أولي أم تحقيق لتصميم نهائي).

بشكل عام يمكن تقييم المنشأ من خلال نموذج رياضي يحاكي المنشأ الفعلي، إذ يجب أن يتضمن النموذج الرياضي المدروس كافة العناصر المساهمة بجملة مقاومة القوى الجانبية، كما يجب أن يتضمن النموذج قساوة ومقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى، وأن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل والقساوات في المنشأة.

إذاً يمكن القول بأن الخطوات الأساسية من أجل التصميم هي:

- 1- تطوير نموذج رياضي يمثل كل من المنشأ وحالات التحميل.
- 2- إنجاز التحليل الستاتيكي أو الديناميكي.
- 3- تفسير وترجمة النتائج.

لقد اعتمدنا في تطوير النماذج الرياضية للأبنية المدروسة وتحليلها على البرنامج الهندسي Etabs. أما بالنسبة لأنظمة العزل المستخدمة فقد استخدمنا عناصر ربط لاخطية (Nlink) من أجل محاكاتها. إذ أنّ العنصر Nlink يستخدم لنمذجة السلوك غير الخطي المحلي في المنشآت، مثل الفجوات (gaps)، المخمدات (Dampers)، العوازل (Isolators) وغيرها. يمكن أن يسلك هذا العنصر سلوكاً غير خطي في مسائل تحليل المنشآت الخاضعة لحمولات متغيرة مع الزمن (مثل التحليل بطريقة السجل الزمني Time History). ويسلك سلوكاً خطياً في بقية أنواع التحليل التي يعالجها البرنامج. يمكن أن يتألف كل عنصر ربط من عقدة واحدة تمثل نابضاً منفرداً مثبتاً

بالأرض) أي عنصر لاهطي عديم الطول أو بطول صغير جداً). أو من عقدتين متصلتين برابط (ربط بين عقدتين).

يتألف كل عنصر من عناصر الربط اللاهطي من ستة نوابض أو مخمدات داخلية. يمتثل كل منها درجة حرية مستقلة (قوة محورية، قوتا قص وعزم فتل وعزما انعطاف). ويجب تفعيل درجات الحرية المطلوبة بحسب طبيعة المسألة المدروسة. ويملك كل نابض مجموعتين من الخواص:

1- خواص خطية لصلابة فعالة وتخמיד فعال تستخدم في التحليل الخطية (مثل الطريقة الستاتيكية المكافئة وطريقة تحليل طيف الاستجابة).

2- علاقة (قوة- انفعال) اختيارية غير خطية تستخدم فقط في التحليل الزمني اللاهطي (السجل الزمني).

إن هدف الدراسة هو تقييم أداء واستجابة المنشآت المعزولة من أجل نوعين من أنظمة العزل الزلزالي (FPS, Ball System).

سوف ندرج فيما يلي وصفاً لنماذج الأبنية التي تمت دراستها وكذلك مواصفات أجهزة العزل المستخدمة في الدراسة:

4-2- وصف نماذج الأبنية المدروسة:

Description of the Studied Buildings

النموذج A- بناء مؤلف من أربعة طوابق جملته الإنشائية إطارات بالاتجاهين الشكل (4-1)، أبعاده (15.5m × 9.6m).

أبعاد جوائز المبنى في كافة الطوابق cm:

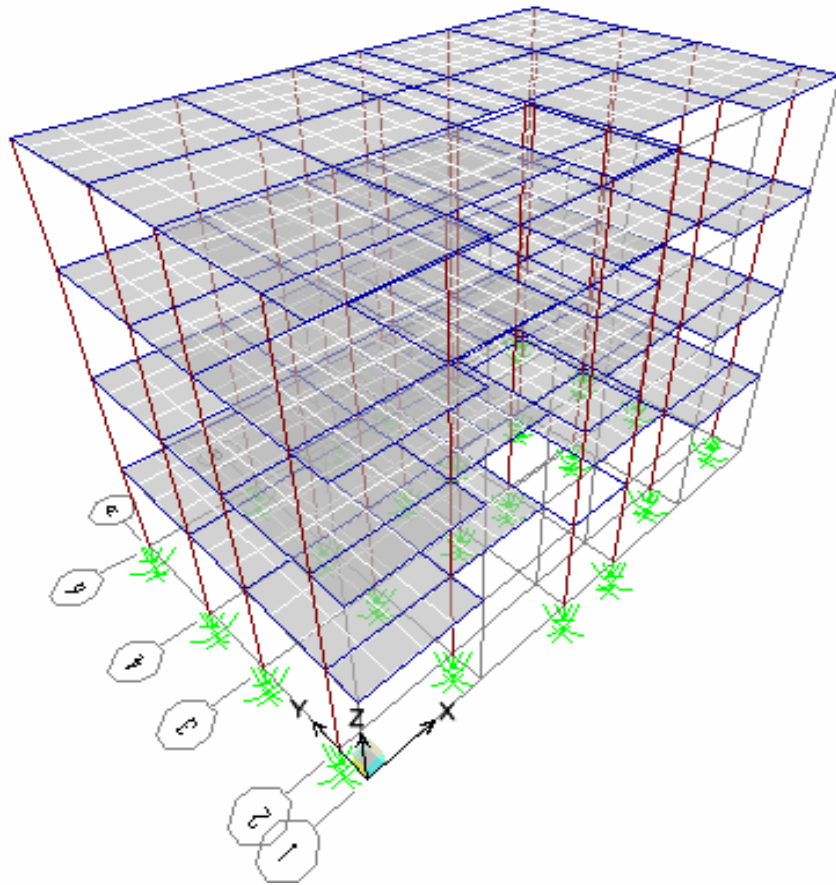
25×25, 50×20, 25×60, 40×20, 25×75, 25×40, 25×70.

مقاطع الأعمدة cm: 20×80.

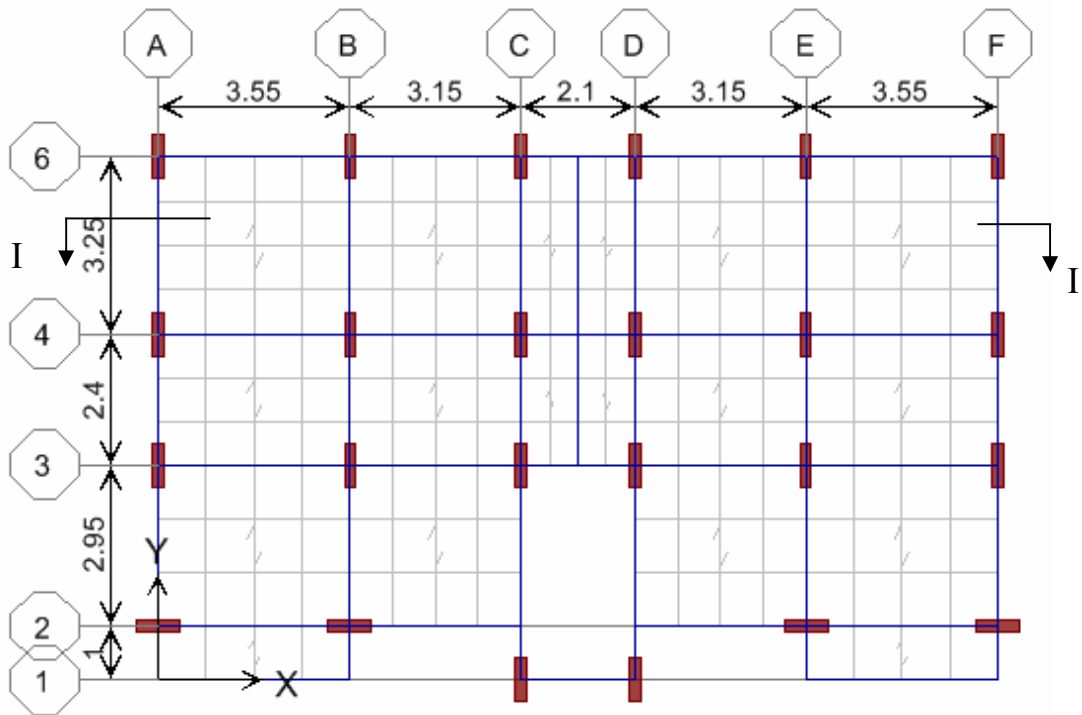
ارتفاع الطابق المتكرر: 3.2 m، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m² والحمولة الحية 0.2Ton/m².

الوزن الميت الكلي للمبنى W=939.5 ton ودوره الأساسي T_s=0.7589sec وذلك وفق التحليل الديناميكي الذي تم انجازه كما ورد في الفقرة (3-4).

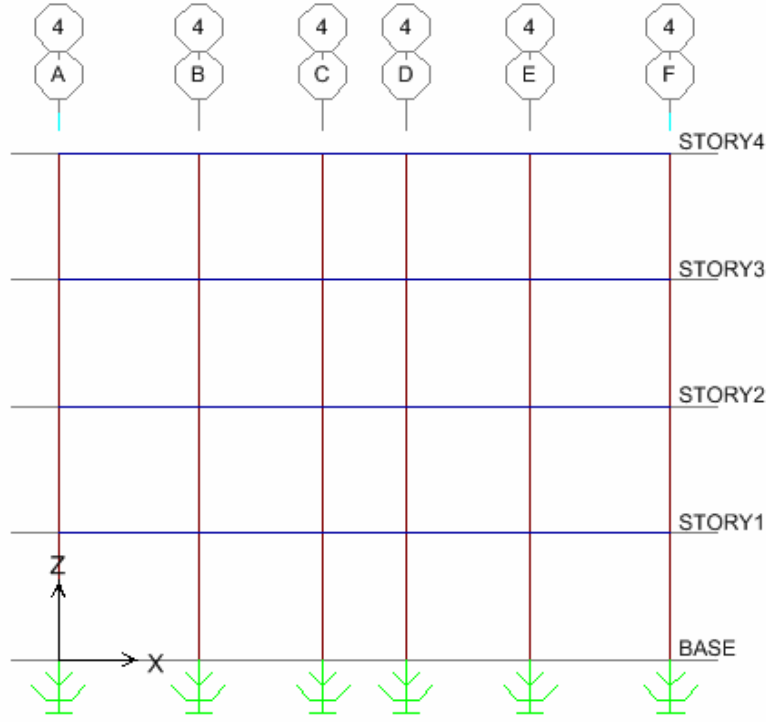
يبين الشكلين (4-2)، (4-3) مسقطاً للطابق المتكرر ومقطعاً شاقولياً في المبنى قيد الدراسة.



الشكل (4-1) منظور للنموذج A



الشكل (4-2) مسقط الطابق المتكرر في النموذج A



الشكل (4-3) مقطع شاقولي I-I في النموذج A

استخدمنا 24 عازلاً وسوف نعرض كيفية حساب خصائص أنظمة العزل لهذا النموذج.

1- عازل النواس الاحتكاكي (FPS):

نختار الدور التصميمي لنظام العزل $[T_D = (2 \sim 3) \times T_s]$ حيث T_s : دور اهتزاز المنشأ غير المعزول.

بافتراض أن دور العزل التصميمي $T_D = 2.5 \text{ sec}$ نحصل على نصف قطر التقرع للعازل:

$$2.5 = 2\pi \sqrt{\frac{R}{9.81}} \Rightarrow R = 1.55m$$

$$[6] D_{all} = \frac{R}{5} = 0.31m \text{ فيكون الانتقال الجانبي المسموح به}$$

حساب الصلابة الفعالة K_{eff} :

تحسب الصلابة الفعالة من العلاقة (2-30)، بافتراض أن معامل الاحتكاك من أجل السرعات الكبيرة والصغيرة 0.04, 0.08 كما هو وارد في المرجع [6]، نحصل على الصلابة الفعالة لنظام العزل المكون من 24 عازلاً:

$$K_{eff} = \frac{939.5}{1.55} + 0.08 \frac{939.5}{0.31} = 848.58 \text{ ton/m}$$

استناداً للكود FEMA450 وشرحه الوارد في الملحق FEMA451 فإن جميع العوازل لها الخصائص ذاتها على اعتبار أنّ لها الحجم نفسه وباعتبار وجود ديافرام صلب عند مستوي العزل، فتكون الصلابة الفعّالة لعازل واحد:

$$K_{eff} = \frac{848.58}{24} = 35.357 \text{ ton/m}$$

حساب الصلابة الشاقولية K_V :

تحتسب الصلابة الشاقولية لنظام العزل، بافتراض الدور الشاقولي للعازل مساوٍ لـ $T_V=0.03\text{sec}$ [10]، من العلاقة $K_V = \frac{W}{g} \cdot \frac{(2\pi)^2}{(T_V)^2}$ فتكون الصلابة الشاقولية للعازل الواحد:

$$K_V = 174861.12 \text{ ton/m}$$

حساب الصلابة الأولية K_I :

بافتراض $D_y=2.5\text{mm}$ كما هو وارد في المرجع [10] نحصل على الصلابة الأولية K_I من الصيغة (2-31) وذلك بعد حساب قيمة K_2 من العلاقة (2-28) وقيمة Q من المساواة (2-27):

$$K_2 = \frac{939.5}{1.55} = 606.129 \text{ ton/m}$$

$$Q = 0.08 * 939.5 = 75.16 \text{ ton}$$

$$K_1 = 606.129 + \frac{75.16}{0.0025} = 30670.129 \text{ ton/m}$$

$$K_1 = \frac{30670.129}{24} = 1277.922 \text{ ton/m}$$

فتكون الصلابة الأولية لعازل واحد:

2-عازل الكرات المعدنية (Ball System):

من أجل مقارنة أداء العازلين، تم افتراض الصلابة الجانبية للعازل نفسها: $K_{eff} = 35.357 \text{ ton/m}$ بافتراض نصف قطر التقرع $R=1\text{m}$ ونصف قطر الكرات المعدنية $r=0.1\text{m}$ فيكون طول النواس المكافئ: $L = 2(R - r) = 1.8 \text{ m}$

يعطى الانتقال الجانبي المسموح بالاستناد للشكل (2-14) بالعلاقة:

$$D_{all} = \sqrt{2Rh - h^2} = \sqrt{2 * 1 * 0.1 - 0.1^2} = 0.4358 \text{ m}$$

حساب الصلابة الفعّالة K_{eff} :

$$K_{eff} = \frac{W}{L} + \frac{\mu W}{D} \text{ :تحتسب الصلابة الفعّالة من العلاقة:}$$

بافتراض أنّ معامل الاحتكاك بالتدرج $\mu_0=0.01$ كما هو وارد في المراجع [14,15,16]، نحصل على الصلابة الفعّالة لعازل واحد $K_{eff} = 22.6 \text{ ton/m}$ ، فتكون صلابة النابض الجانبي مساوية لـ $K_b = 35.357 - 22.6 = 12.757 \text{ ton/m}$

حساب الصلابة الأولية K_1 :

من العلاقة (2-31): $D_y = \frac{Q}{(K_1 - K_2)}$ نحصل على الصلابة الأولية بالشكل الآتي:

$$K_1 = K_2 + \frac{Q}{D_y}$$

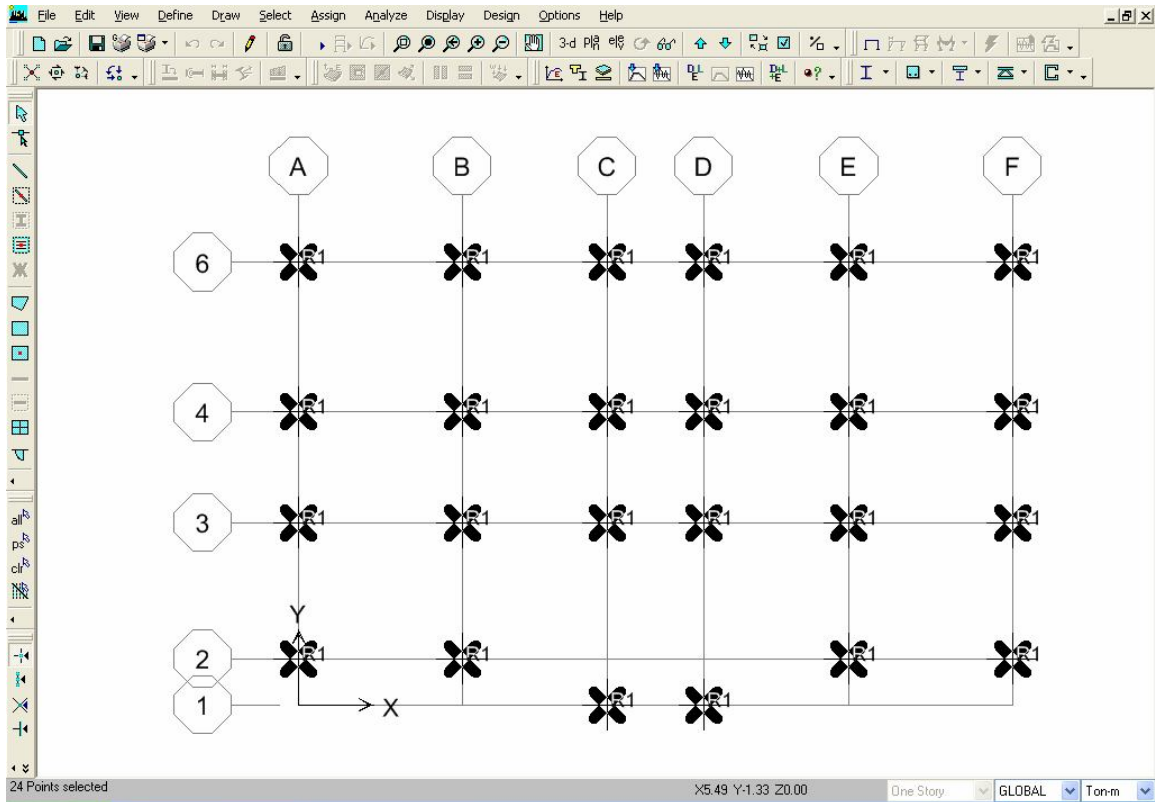
بتعويض الصيغتين (2-27) و (2-28) في العلاقة السابقة نحصل على: $K_1 = \frac{W}{L} + \frac{\mu_0 W}{D_y}$

فتكون الصلابة الأولية لنظام العزل:

$$K_1 = \frac{W}{L} + \frac{\mu_0 W}{D_y} = \frac{939.5}{1.8} + \frac{0.01 * 939.5}{0.0025} = 4279.944 \text{ ton/m}$$

وبالتالي الصلابة الأولية لعازل واحد: $K_1 = \frac{4279.944}{24} = 178 \text{ ton/m}$

يبين الشكل (4-4) أماكن توضع العوازل في هذا النموذج:



الشكل (4-4) مسقط أفقي يبين أماكن توضع العوازل في النموذج A

أما الشكل (4-5) فيظهر الآلية التي يتم فيها تعريف عنصر الربط اللاخطي (العازل) في برنامج . Etabs

Define Link Properties

Link Props

R1

Click to:

Add New Property...

Modify/Show Property...

Delete Property

OK

Cancel

NLLink Directional Properties

Identification

Property Name R1

Direction U1

Type Isolator2

NonLinear Yes

Linear Properties

Effective Stiffness 174861.14

Effective Damping 0.

Nonlinear Properties

Stiffness 174861.14

OK

Cancel

NLLink Property Data

Property Name: Type:

Total Mass and Weight

Mass: Rotational Inertia 1:

Weight: Rotational Inertia 2:

Rotational Inertia 3:

Directional Properties

Direction	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

P-Delta Parameters

NLLink Directional Properties

Identification

Property Name:

Direction:

Type:

NonLinear:

Linear Properties

Effective Stiffness:

Effective Damping:

Shear Deformation Location

Distance from End-J:

Nonlinear Properties

Stiffness:

Friction Coefficient, Slow:

Friction Coefficient, Fast:

Rate Parameter:

Radius of Sliding Surface:

الشكل (4-5) آلية تعريف عنصر الربط اللاخطي

يظهر الجدول (4-1) خصائص نظامي العزل المستخدم في النموذج (A)

الجدول (4-1) مواصفات جهازي العزل المعتمدين للنموذج A

عازل الكرات المعدنية (Ball System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator2			
174861.12	174861.12	الصلابة الفعالة K_v (ton/m)	الخطي	U1 Ver) (
174861.12	174861.12	الصلابة K_v	اللاخطي	
22.6	35.357	الصلابة الفعالة K_{eff} (ton/m)	الخطي	الاتجاهين الأفقيين (U2, U3)
178	1277.922	الصلابة KI (ton/m)	اللاخطي	
-	0.08	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}		
-	0.04	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}		
-	50	معامل التحكم a (m/sec)		
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)		
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح $Dall$ (m)		
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)		
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدحرج μ_0		
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)		
12.757	-	صلابة النابض Kb (ton/m)		

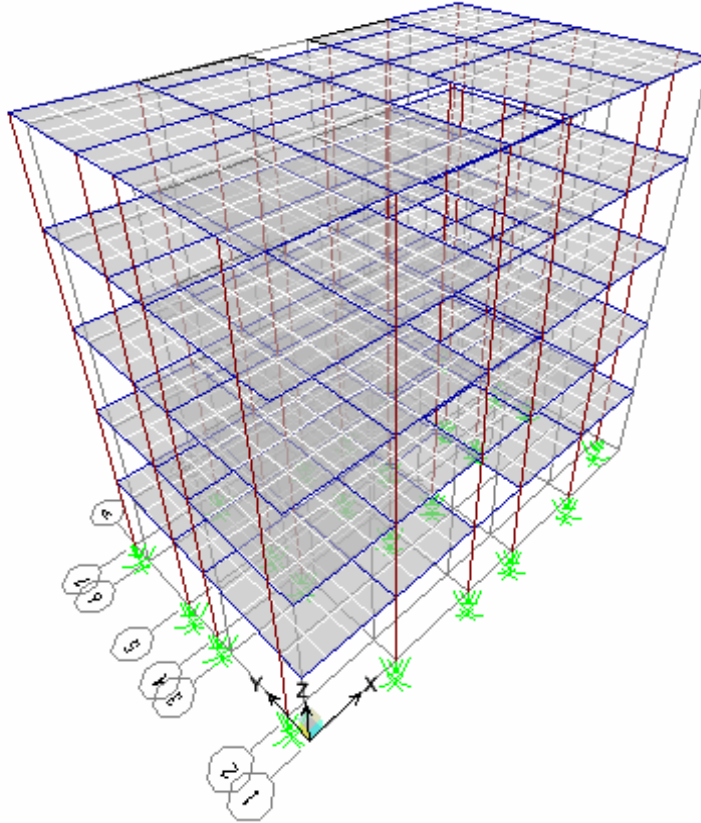
النموذج B - بناء مؤلف من خمسة طوابق جملته الإنشائية إطارية الشكل (4-6)،
أبعاده (16.7m × 9.9m).

أبعاد جوائز المبنى في الطوابق (cm): 40×22, 55×22, 70×22, 75×22, 100×22, 20×70, 25×22.

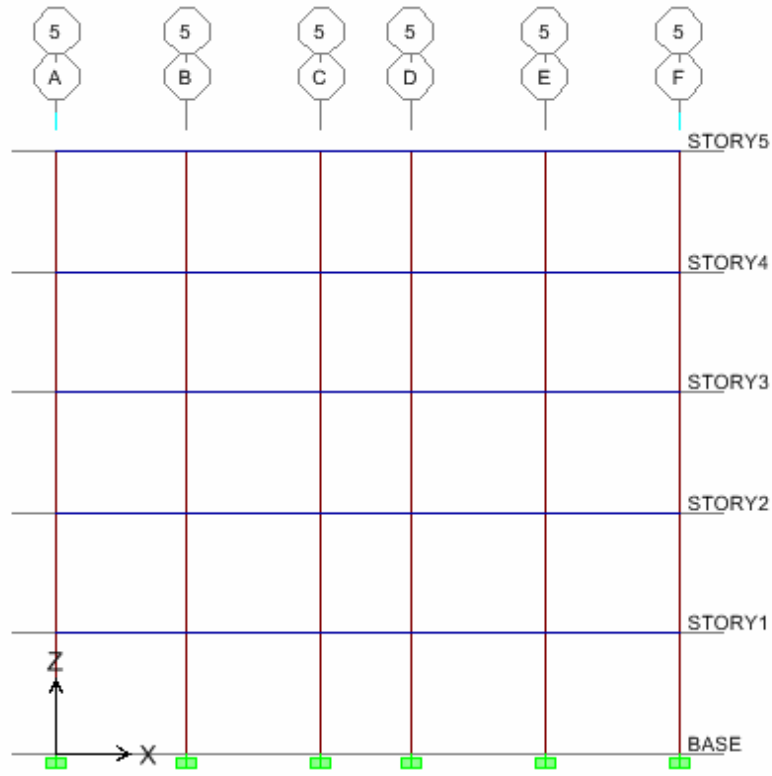
مقاطع الأعمدة (cm): 100×20, 75×20, 70×20, 60×20, 50×20, 45×20, 40×20.
ارتفاع الطابق المتكرر: 3.2 m، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m^2 والحمولة الحية 0.2 Ton/m^2 . فيكون الوزن الميت الكلي للمبنى $W=1191.43 \text{ ton}$ ودوره الأساسي $T_s=1.0835 \text{ sec}$.

تبيّن الأشكال (4-7), (4-8), (4-9) مقطع في المبنى قيد الدراسة، مسقط للطابق المتكرر، ومسقط يبيّن توزيع العوازل.

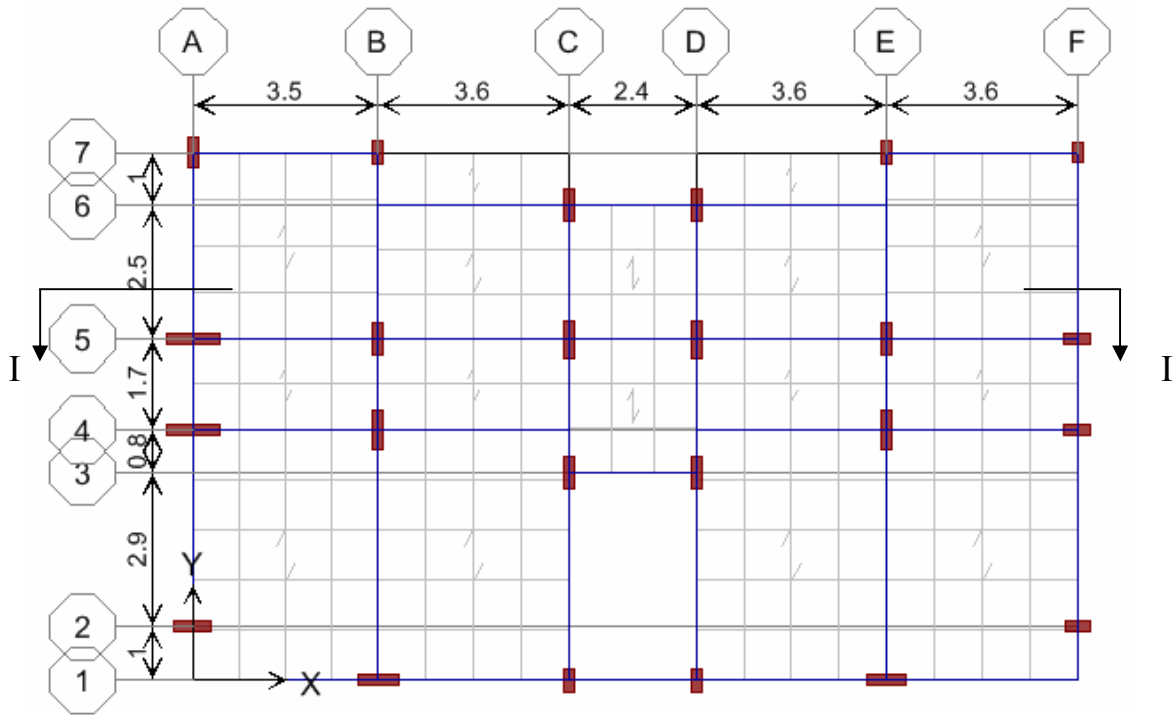
نورد بالجدول (4-2) مواصفات جهازي العزل الذين تم اعتبارهما في الدراسة، حيث تم استخدام 24 عزلاً لهذا النموذج.



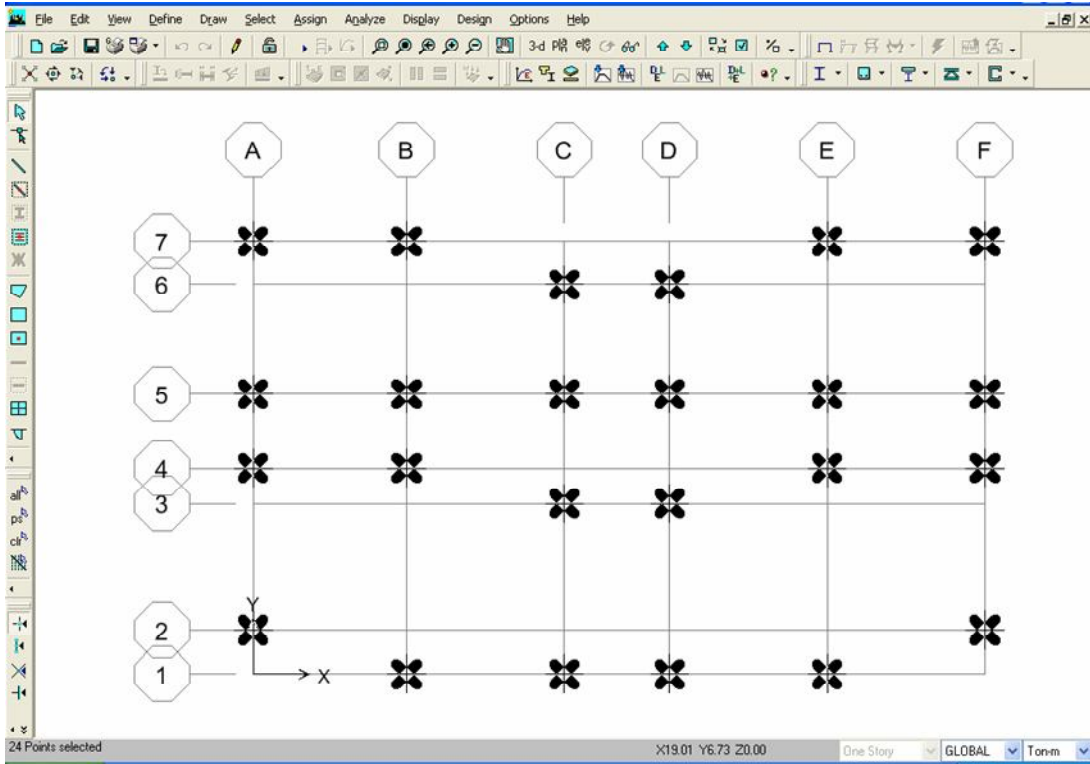
الشكل (4-6) منظور للنموذج B



الشكل (4-7) مقطع شاقولي I-I في النموذج (B)



الشكل (4-8) مسقط الطابق المتكرر في النموذج (B)



الشكل (4-9) مسقط أفقي يبين أماكن توضع العوازل في نموذج المبنى B

الجدول (4-2) مواصفات جهازي العزل المعتبرين للنموذج B

عازل الكرات المعدنية (Ball System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator2			
221750.73	221750.73	الصلابة الفعالة Kv (ton/m)	الخطي	U1 (Ver)
221750.73	221750.73	الصلابة Kv	اللاخطي	
28.7	44.838	الصلابة الفعالة K_{eff} (ton/m)	الخطي	الاتجاهين الأفقيين (U2,U3)
226	1610.601	الصلابة KI (ton/m)	اللاخطي	
-	0.08	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}		
-	0.04	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}		
-	50	معامل التحكم a (m/sec)		
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)		
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح $Dall$ (m)		
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)		
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدرج μ_0		
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)		
16.138	-	صلابة النابض Kb (ton/m)		

النموذج C-بناء مؤلف من خمسة طوابق جملته الإنشائية مختلطة (إطارات وجدران قص)
الشكل (4-10)، مساحته $(23.1m \times 12.7m)$.

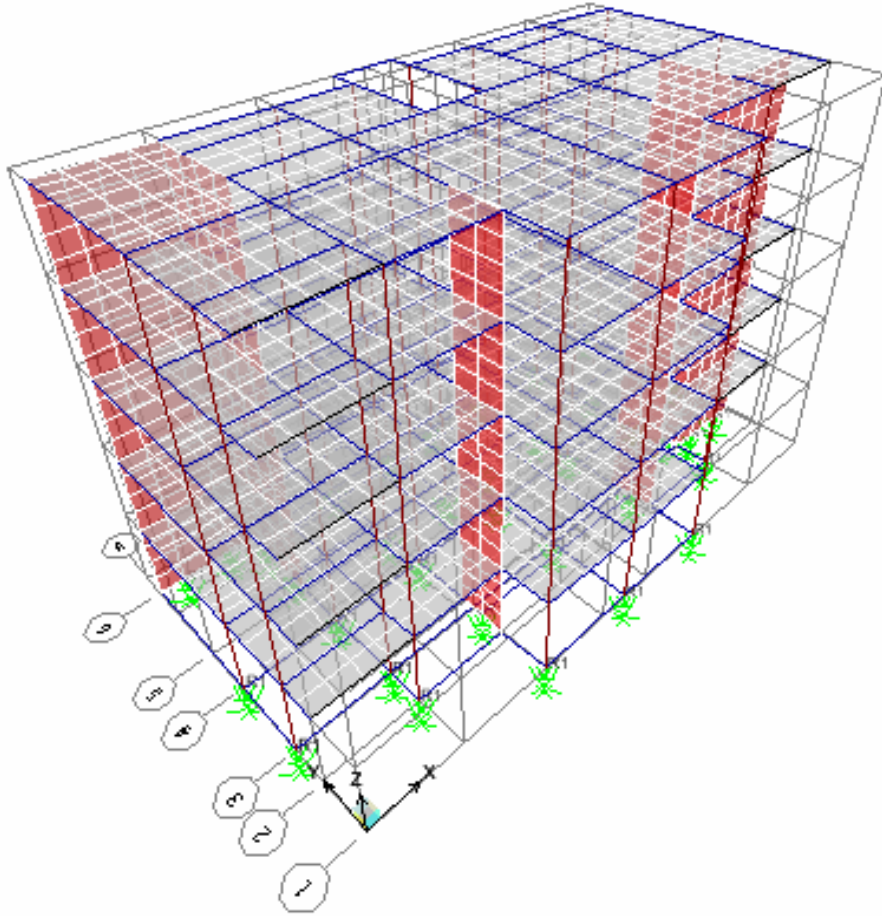
أبعاد جوائز المبنى في الطوابق (cm): $25 \times 22, 30 \times 22, 40 \times 22, 50 \times 22, 55 \times 22, 60 \times 22, 70 \times 22, 70 \times 22$
مقاطع الأعمدة: $85 \times 20, 80 \times 20, 60 \times 20$ cm
سماعة مقطع جدران القص: $20, 25$ cm

ارتفاع الطابق المتكرر $3.2m$ ، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m^2 والحمولة الحية 0.2 Ton/m^2

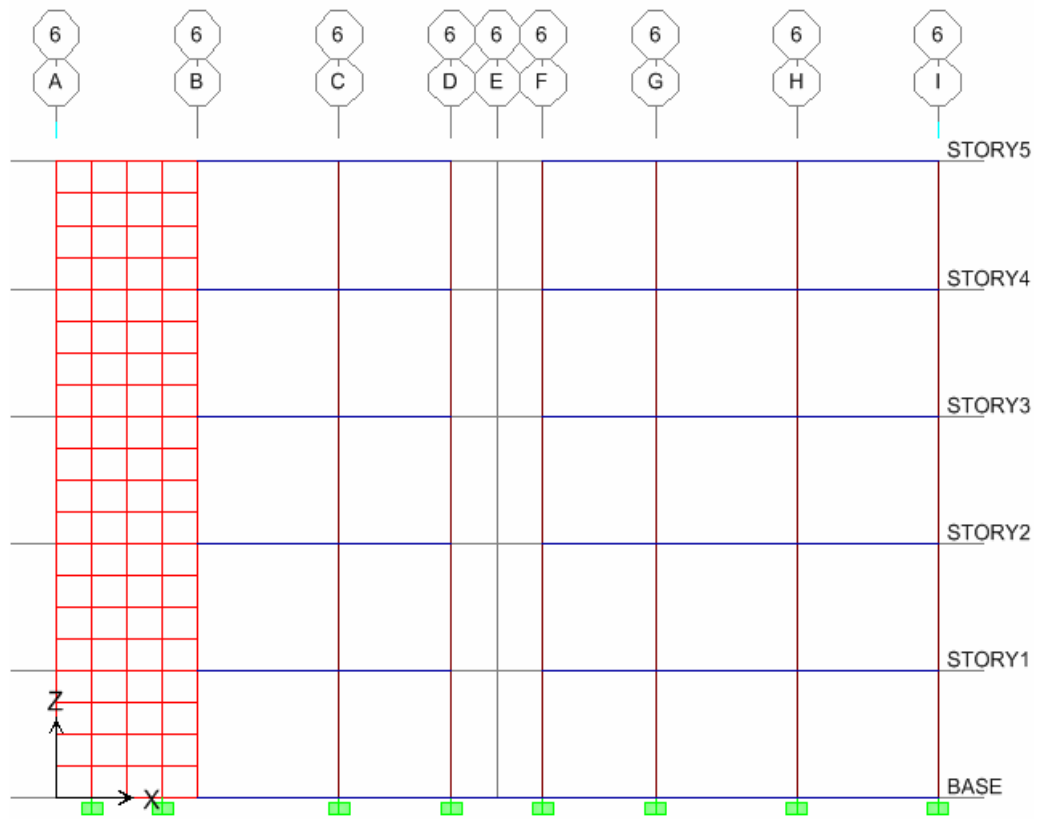
الوزن الكلي للمبنى $W=1679.44 \text{ ton}$ ودوره الأساسي $T_s=0.5223 \text{ sec}$.

تبيّن الأشكال (4-11),(4-12),(4-13) مقطع في المبنى قيد الدراسة، مسقط للطابق المتكرر ،
ومسقط يبيّن توزيع العوازل.

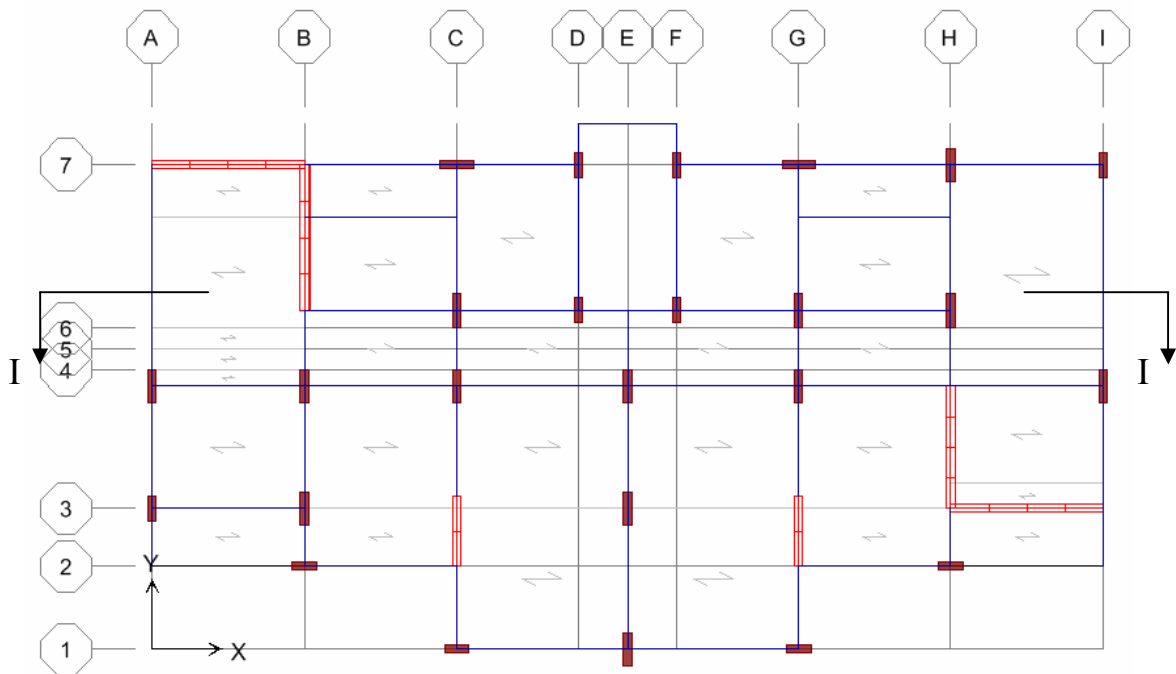
لقد استخدمنا 35 عازلاً، ويظهر الجدول (4-3) مواصفات جهازي العزل المعتمدين.



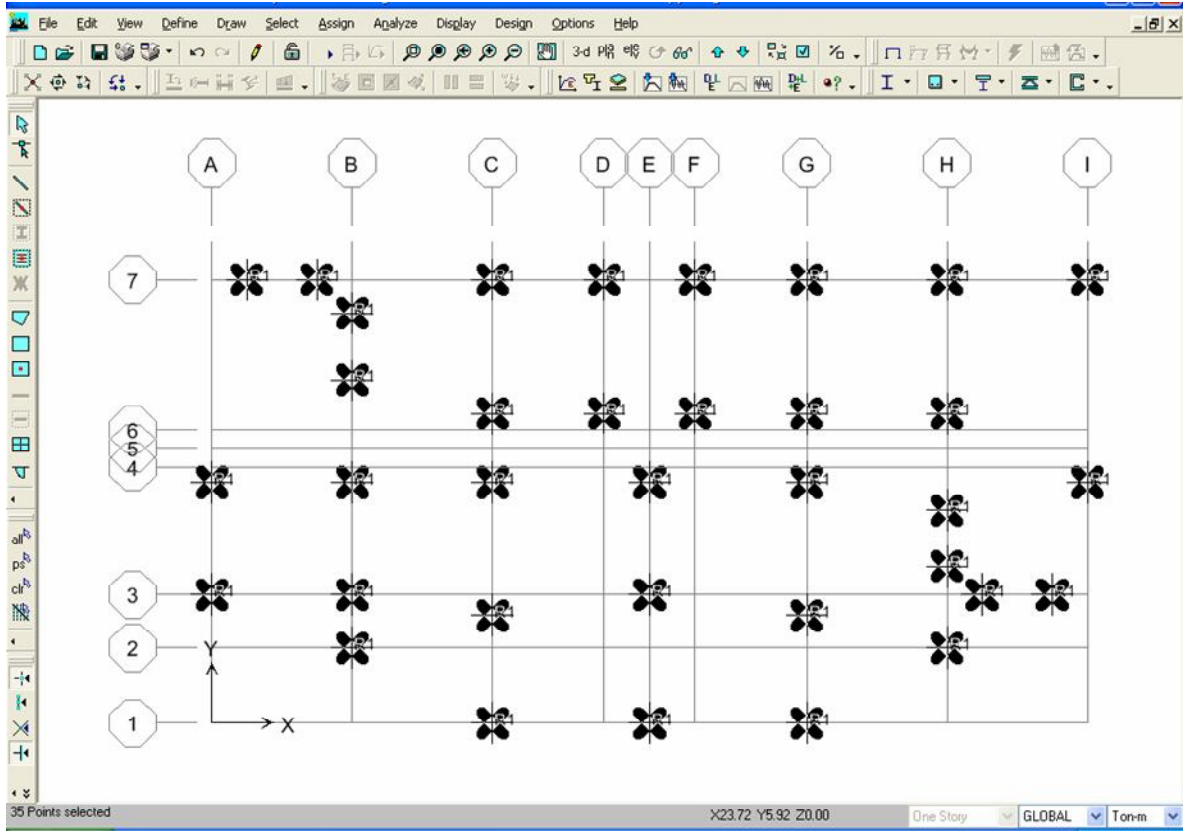
الشكل (4-10) منظور للنموذج C



الشكل (4-11) مقطع شاقولي I-I في النموذج C



الشكل (4-12) مسقط الطابق المتكرر في النموذج C



الشكل (4-13) مسقط أفقي يبيّن أماكن توضع العوازل في النموذج C

الجدول (4-3) مواصفات جهازي العزل المعتبرين للنموذج C

عازل الكرات المعدنية (Ball System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator ₂		
214340.5	214340.5	الصلابة الفعالة Kv (ton/m)	الخطي
214340.5	214340.5	الصلابة Kv	اللاخطي
27.76	43.34	الصلابة الفعالة $Keff$ (ton/m)	الخطي
218.59	1566.445	الصلابة KI (ton/m)	اللاخطي
-	0.08	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}	
-	0.04	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}	
-	50	معامل التحكم a (m/sec)	
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)	
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح $Dall$ (m)	
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)	
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدرج μ_0	
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)	
15.58	-	صلابة النابض Kb (ton/m)	

الاتجاهين الأفقيين (U2, U3)

النموذج D - بناء مؤلف من عشرة طوابق جملمته الإنشائية مختلطة الشكل (4-14)،
أبعاده (21m × 15m) .

أبعاد جوائز المبنى في الطوابق cm : 25×55, 80×50, 50×25 .

مقاطع الأعمدة cm : 125×30, 120×25, 105×30, 100×25, 80×25, 50×25, 40×25 .

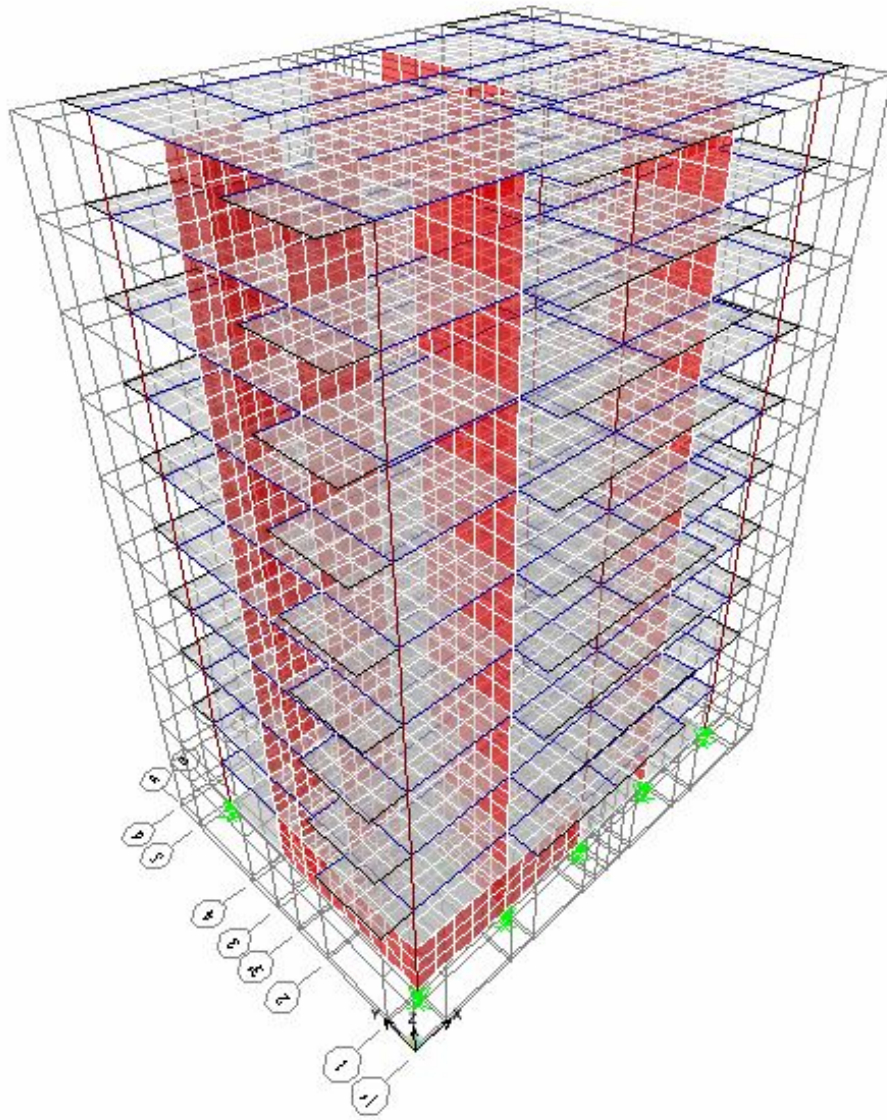
سماكة مقطع جدران القص cm : 20, 25, 30 .

ارتفاع الطابق المتكرر 3m، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m^2 والحمولة الحية
 0.2 Ton/m^2 .

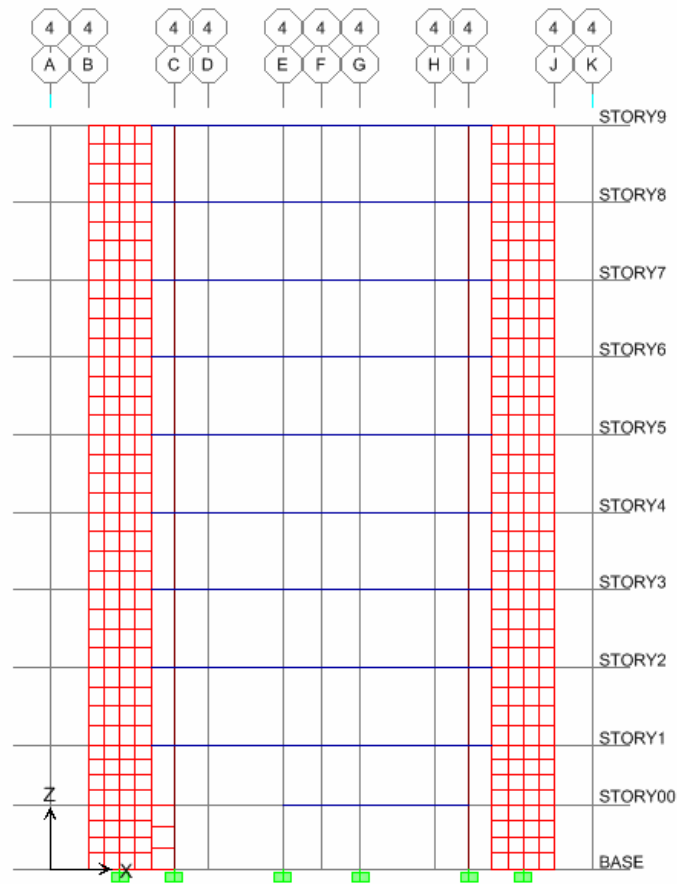
إنّ الوزن الميت الكلي للمبنى $W=4360.56 \text{ ton}$ ودوره الأساسي $T_s=0.9135 \text{ sec}$.

تظهر الأشكال (4-15),(4-16),(4-17) مقطع في المبنى قيد الدراسة، مسقط للطابق المتكرر ،
ومسقط يبيّن توزيع العوازل .

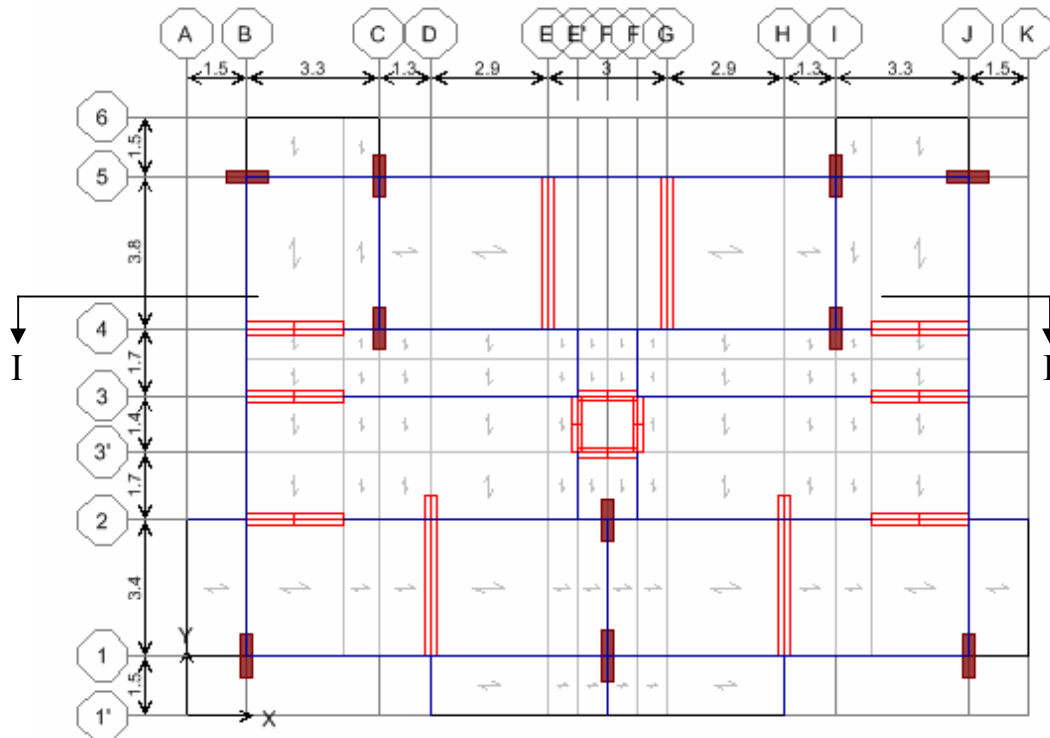
استخدمنا لعزل هذا المبنى 28 عازلاً مواصفاتها واردة في الجدول (4-4) .



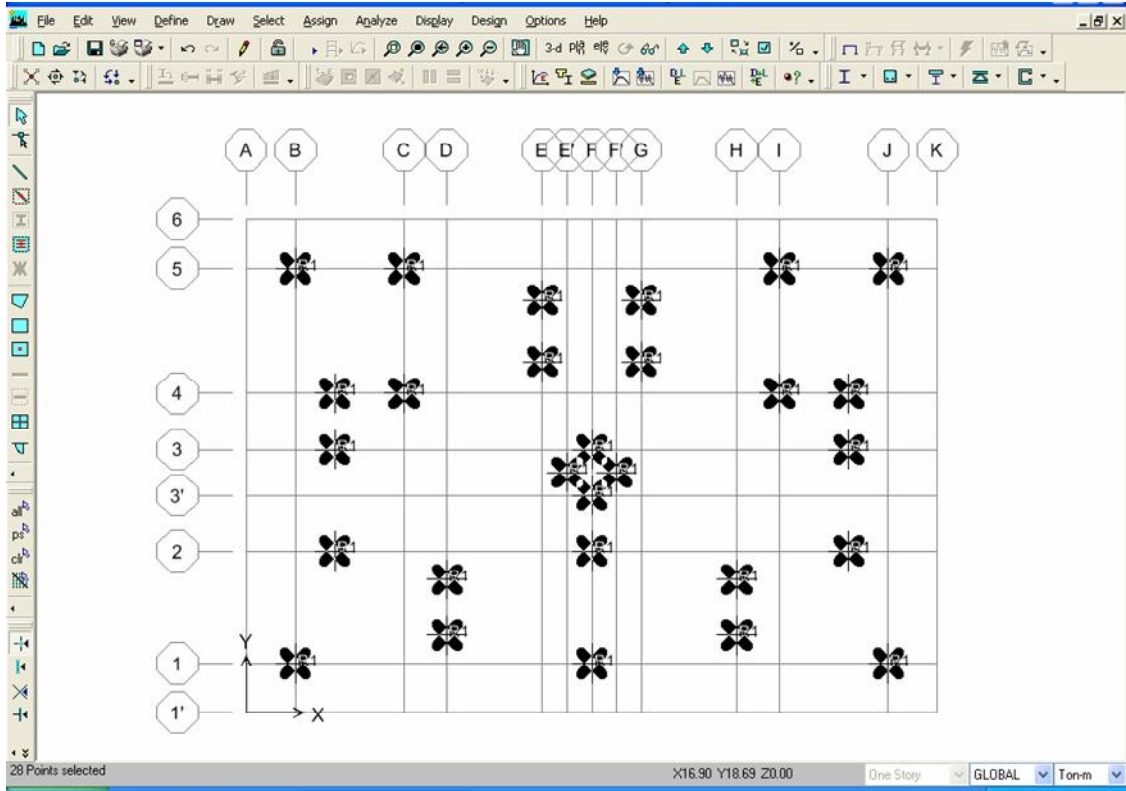
الشكل (4-14) منظور للنموذج D



الشكل (4-15) مقطع شاقولي I-I في النموذج D



الشكل (4-16) مسقط الطابق المتكرر في النموذج D



الشكل (4-17) مسقط أفقي يبين توزيع العوازل في النموذج D

الجدول (4-4) مواصفات جهازي العزل المعتبرين للنموذج D

عازل الكرات المعدنية (Ball) (System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator ₂		
695651.95	695651.95	الصلابة الفعالة K_v (ton/m)	الخطي
695651.95	695651.95	الصلابة K_v	اللاخطي
90.1	135.639	الصلابة الفعالة K_{eff} (ton/m)	الخطي
709	4461.034	الصلابة K_I (ton/m)	الاتجاهين الأفقيين (U ₂ , U ₃) اللاخطي
-	0.07	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}	
-	0.03	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}	
-	50	معامل التحكم a (m/sec)	
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)	
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح D_{all} (m)	
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)	
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدحرج μ_0	
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)	
45.54	-	صلابة النابض K_b (ton/m)	

النموذج E - بناء مؤلف من أحد عشر طابقاً جملمته الإنشائية مختلطة الشكل (4-18)،
أبعاده (27.4m × 18.8m)،

أبعاد جوائز المبنى في الطوابق المتكررة cm:

100×25,90×25,70×25,60×20,50×20,40×20,30×20

مقاطع الأعمدة cm: 120×30, 110×30, 100×30, 90×30, 80×30, 70×30, 60×30, 90×20

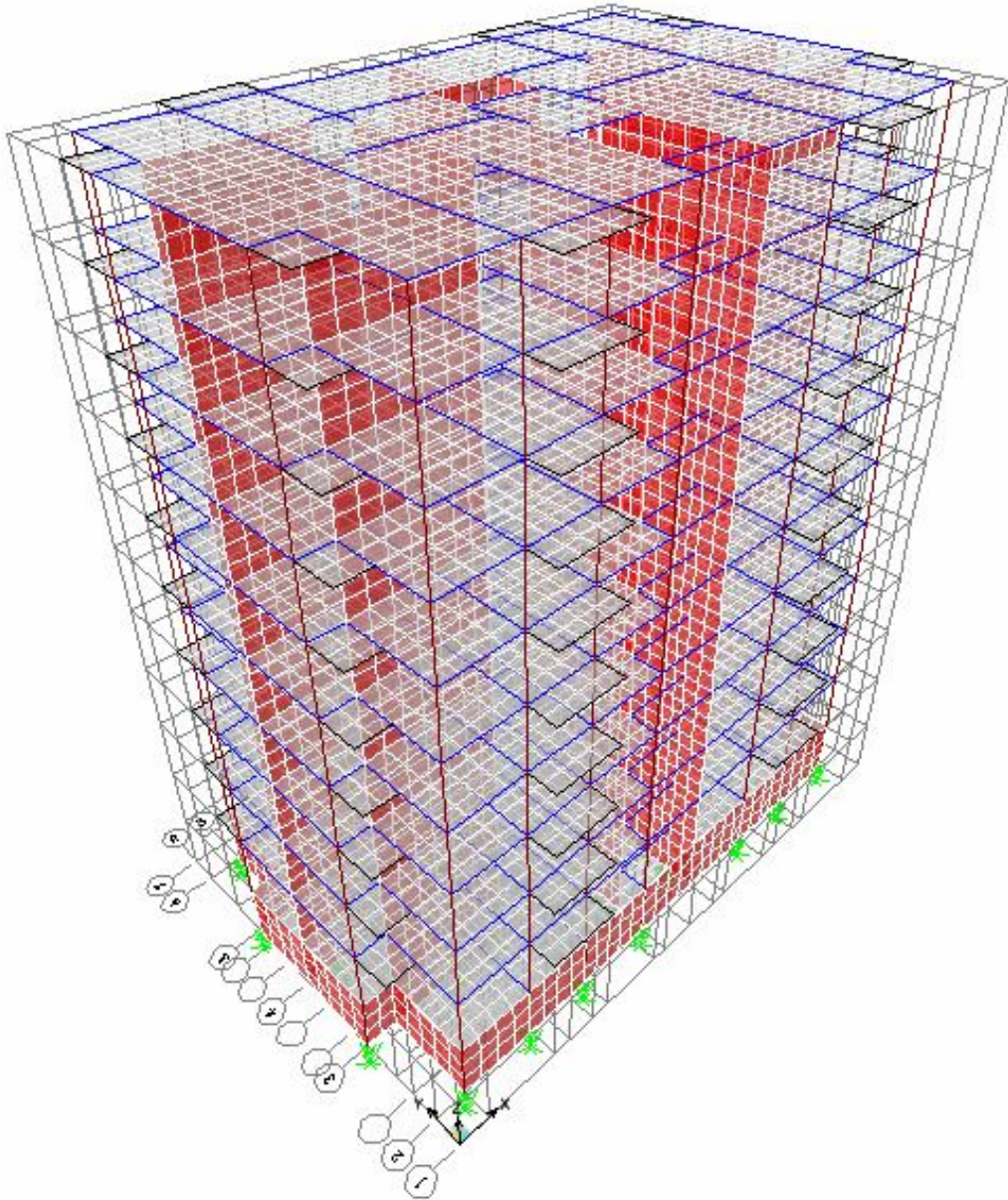
سماكة مقطع جدران القص cm: 20, 25, 30.

ارتفاع الطابق المتكرر 3.35m، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m^2 والحمولة الحية 0.2 Ton/m^2 .

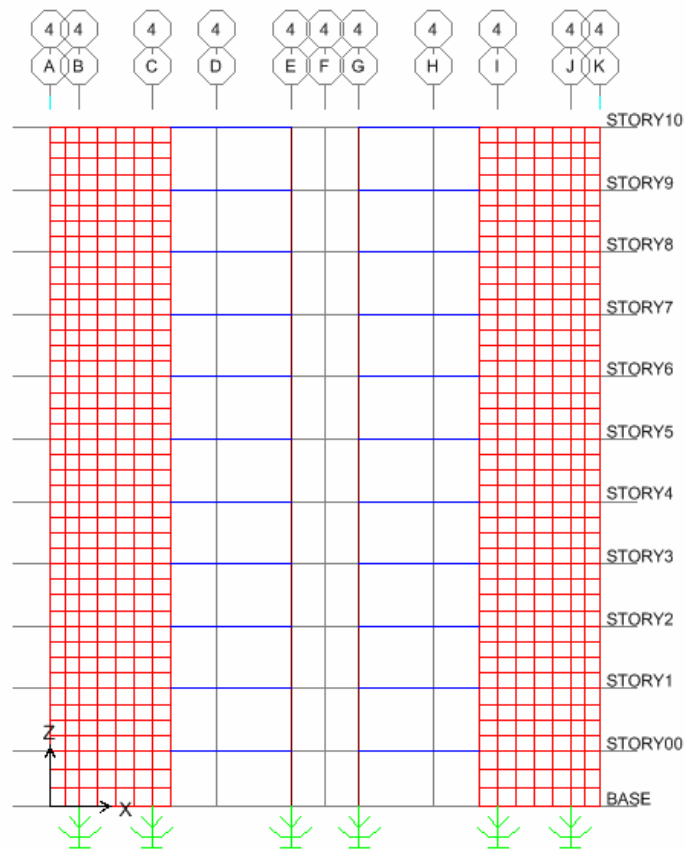
الوزن الميت الكلي للمبنى $W=9411.82 \text{ ton}$ ودوره الأساسي $T_s=1.157 \text{ sec}$.

تبيّن الأشكال (4-19),(4-20),(4-21) مقطع في المبنى قيد الدراسة، مسقط للطابق المتكرر،
ومسقط يبيّن توزيع العوازل.

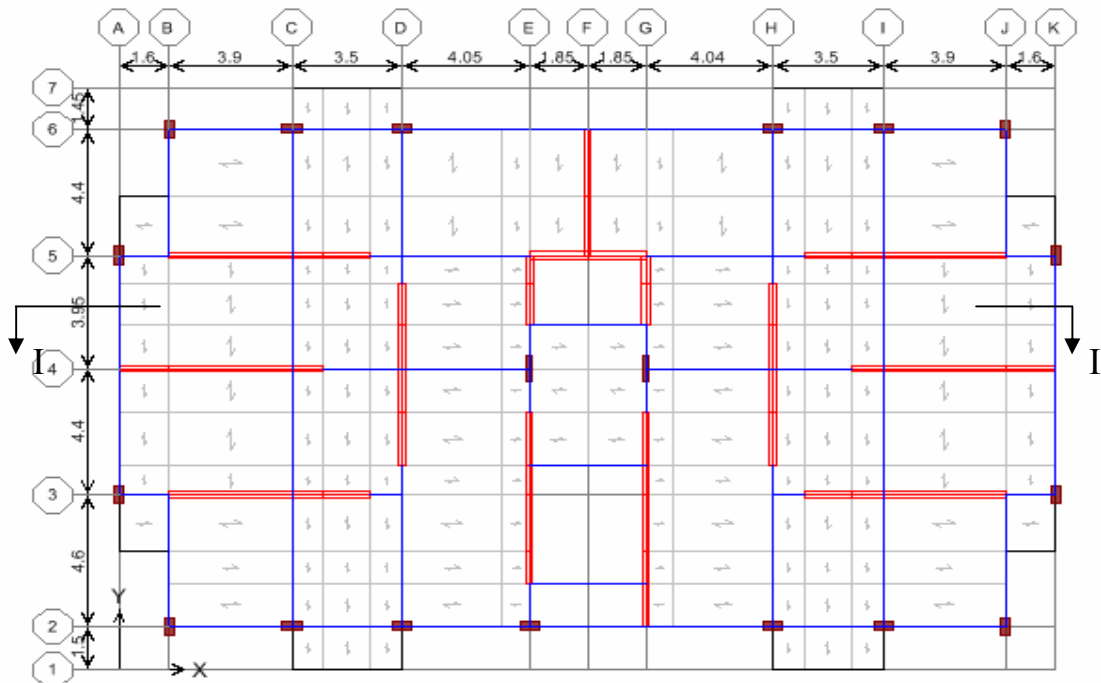
لعزل هذا المبنى تم استخدام 43 عازلاً مواصفاتها موضحة في الجدول (4-5).



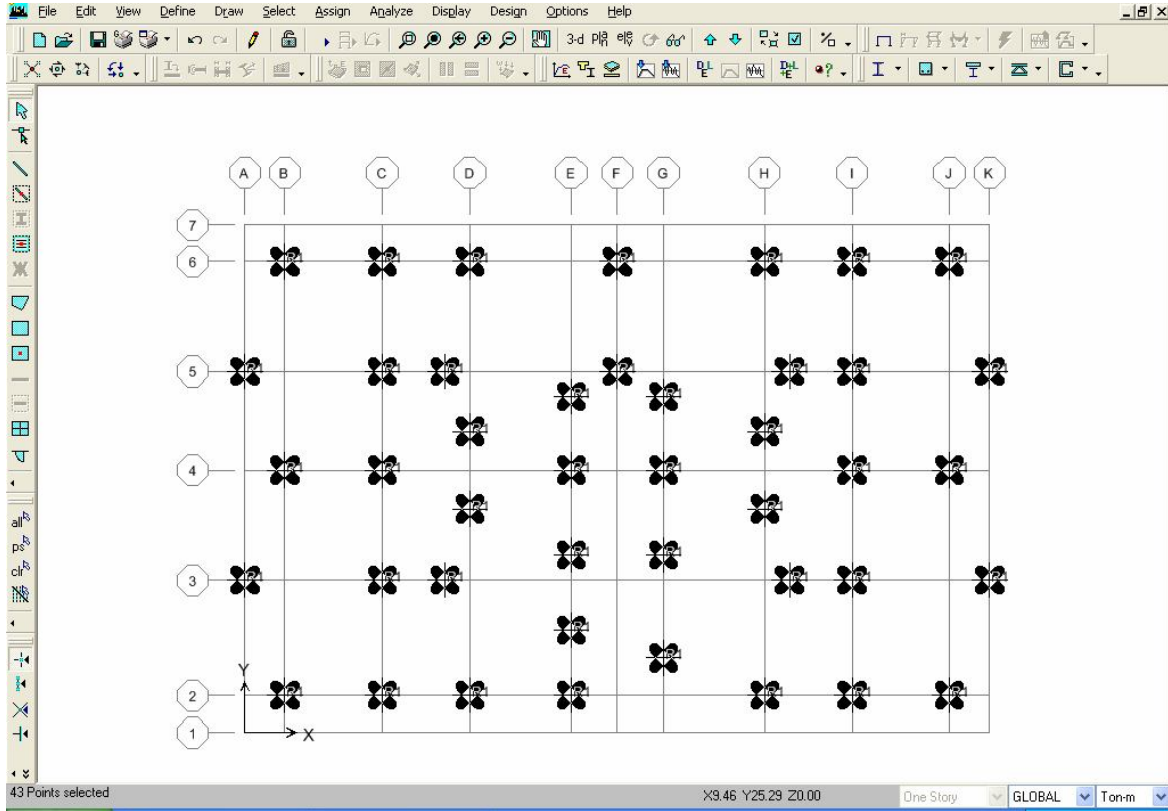
الشكل (4-18) منظور للنموذج E



الشكل (4-19) مقطع شاقولي I-I في النموذج E



الشكل (4-20) مسقط الطابق المتكرر في النموذج E



الشكل (4-21) مسقط أفقي يبيّن توزيع العوازل في النموذج E

الجدول (4-5) مواصفات جهازي العزل المعتبرين للنموذج E

عازل الكرات المعدنية (Ball) (System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator2			
977716.46	977716.46	الصلابة الفعالة Kv (ton/m)	الخطي	U1 (Ver)
977716.46	977716.46	الصلابة Kv	الملاخطي	
126.6	176.52	الصلابة الفعالة $Keff$ (ton/m)	الخطي	الاتجاهين الأفقيين (U2,U3) الملاخطي
997.1	4518.803	الصلابة KI (ton/m)		
-	0.05	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}		
-	0.03	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}		
-	60	معامل التحكم a (m/sec)		
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)		
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح $Dall$ (m)		
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)		
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدحرج μ_0		
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)		
49.92	-	صلابة النابض Kb (ton/m)		

النموذج F - بناء مؤلف من أحد عشر طابقاً جملمته الإنشائية مختلطة الشكل (4-22)،
أبعاده (22.1m × 15.9m).

أبعاد جوائز المبنى في كافة الطوابق المتكررة (cm):

.120×25,85×25,75×25,65×20,60×20,50×20,45×25,40×20,30×25,30×20

مقاطع الأعمدة cm: 150×40, 140×35, 135×30, 130×30, 120×25, 115×25, 100×25,

90×20, 80×20, 70×20, 60×30, 60×20, 50×20.

سماعة مقطع جدران القص cm: 20, 25, 30.

ارتفاع الطابق المتكرر 3.2m، الحمولة الميتة على البلاطات 0.3 Ton/m^2 والحمولة الحية

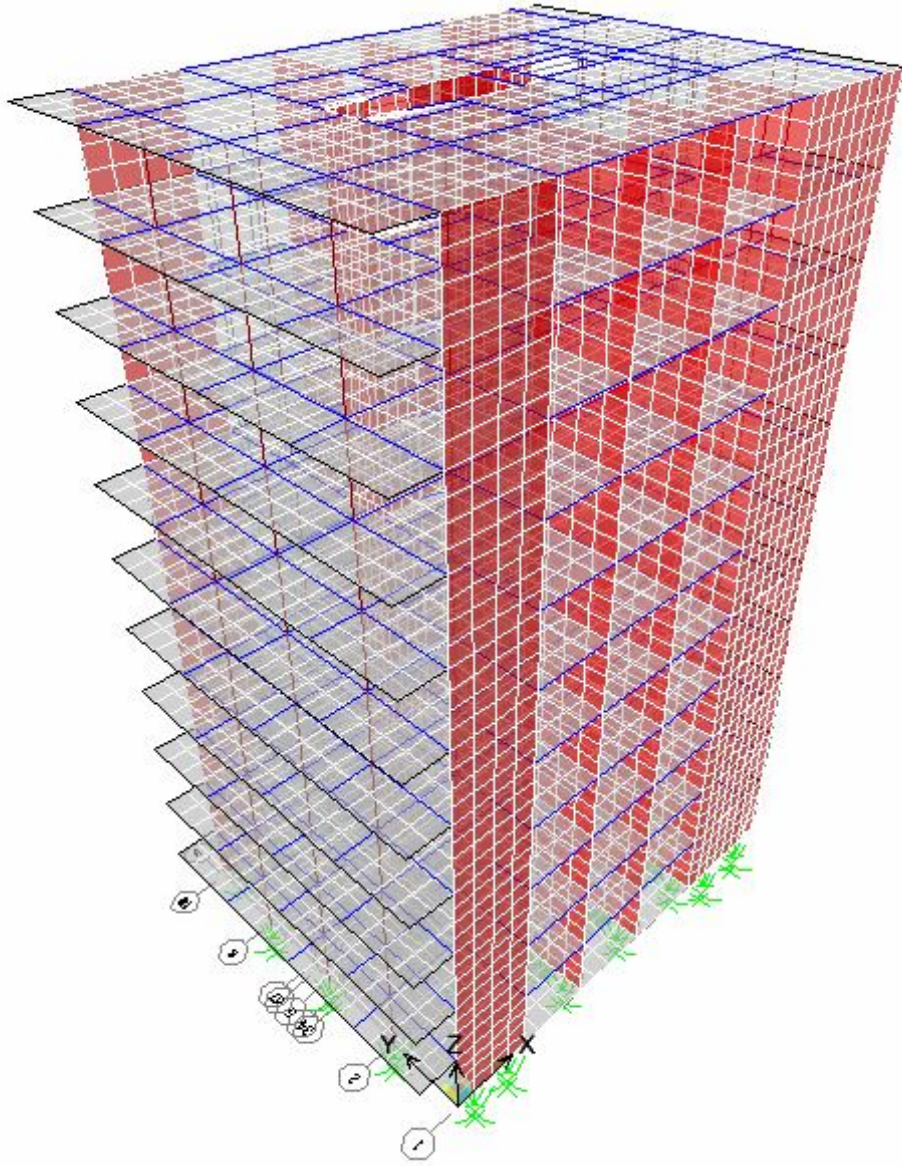
. 0.2 Ton/m^2

الوزن الميت الكلي للمبنى $W=6794.29 \text{ ton}$ ودوره الأساسي $T_s=0.9747 \text{ sec}$.

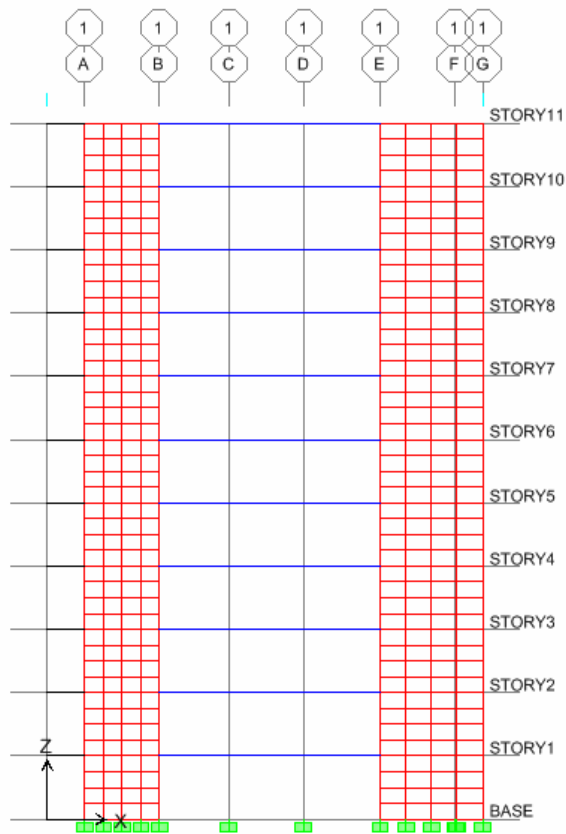
تبيّن الأشكال (4-23),(4-24),(4-25) مقطع في المبنى قيد الدراسة، مسقط للطابق المتكرر،

ومسقط يبيّن توزيع العوازل.

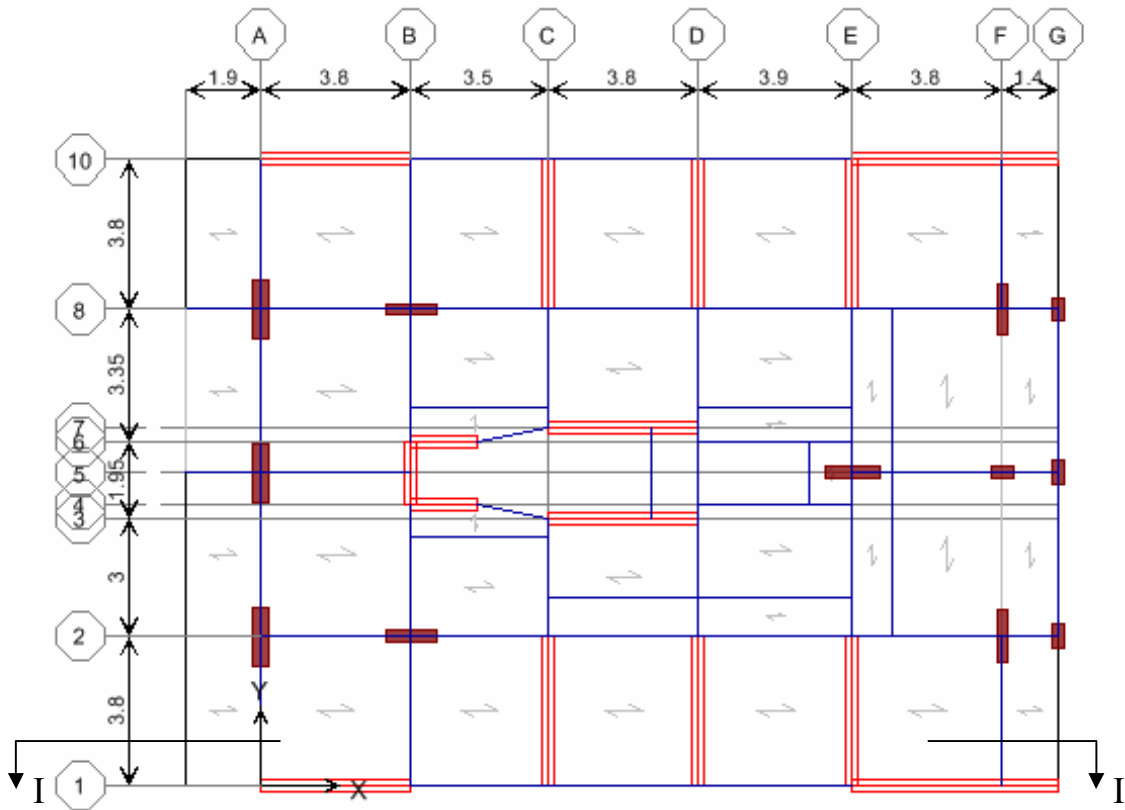
لقد استخدمنا 39 عازلاً، عرضنا مواصفاتها في الجدول (4-6).



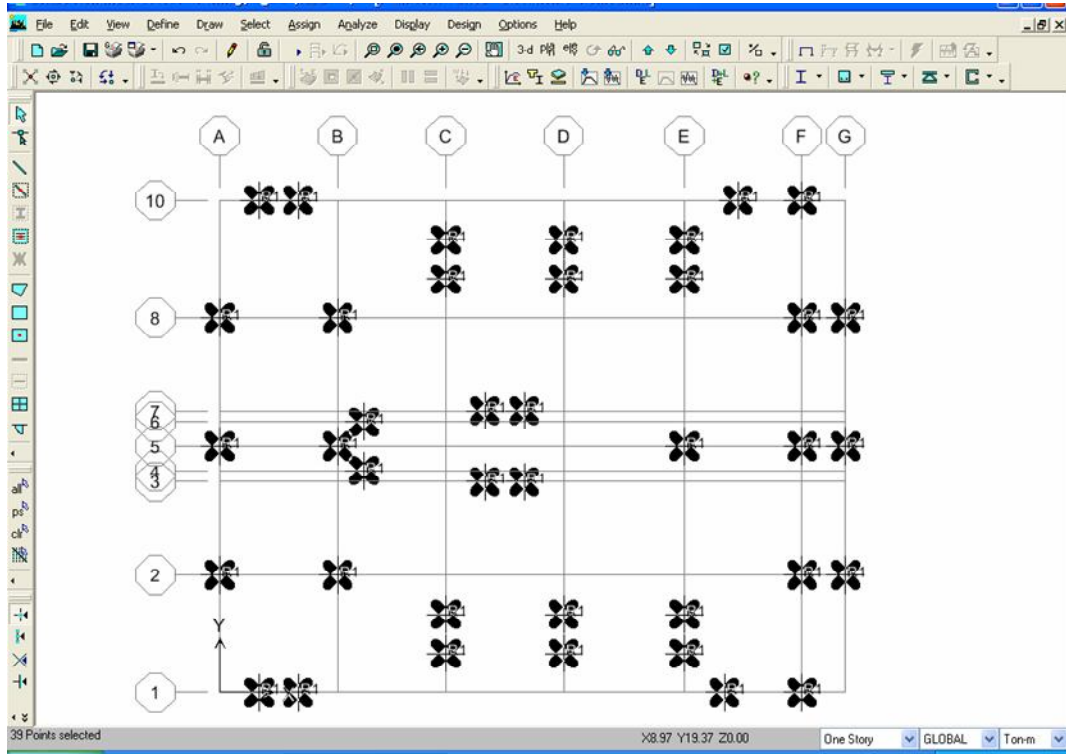
الشكل (4-22) منظور للنموذج F



الشكل (4-23) مقطع شاقولي I-I في النموذج F



الشكل (4-24) مسقط الطابق المتكرر في المبنى F



الشكل (4-25) مسقط أفقي يبيّن توزيع العوازل في نموذج المبنى F

الجدول (4-6) مواصفات جهازي العزل للمعتبرين للنموذج F

عازل الكرات المعدنية (Ball) (System)	عازل النواس الاحتكاكي (FPS) Isolator2			
778192.86	778192.86	الصلابة الفعالة Kv (ton/m)	الخطي	U1 (Ver)
778192.86	778192.86	الصلابة Kv	اللاخطي	
101	140.49	الصلابة الفعالة $Keff$ (ton/m)	الخطي	الاتجاهين الأفقيين (U2, U3) اللاخطي
794	3596.65	الصلابة KI (ton/m)		
-	0.05	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الكبيرة f_{max}		
-	0.03	معامل الاحتكاك من أجل السرعة الصغيرة f_{min}		
-	60	معامل التحكم a (m/sec)		
1	1.55	نصف قطر التقعر لسطح الانزلاق R (m)		
0.4358	0.31	الانتقال الجانبي المسموح $Dall$ (m)		
0.1	-	نصف قطر الكرات المعدنية r (m)		
0.01	-	معامل الاحتكاك بالتدحرج μ_0		
1.8	-	الطول المكافئ $L=2(R-r)$ (m)		
39.49	-	صلابة النابض Kb (ton/m)		

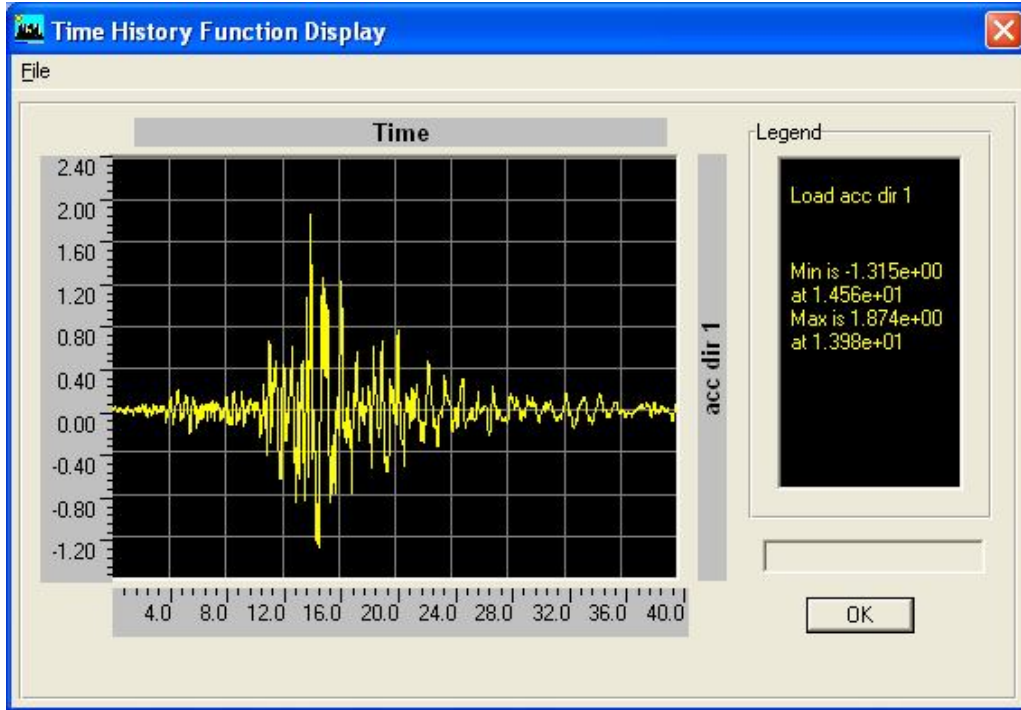
3-4- التحليل الديناميكي للأبنية المدروسة:

The Dynamic Analysis of the Studied Buildings

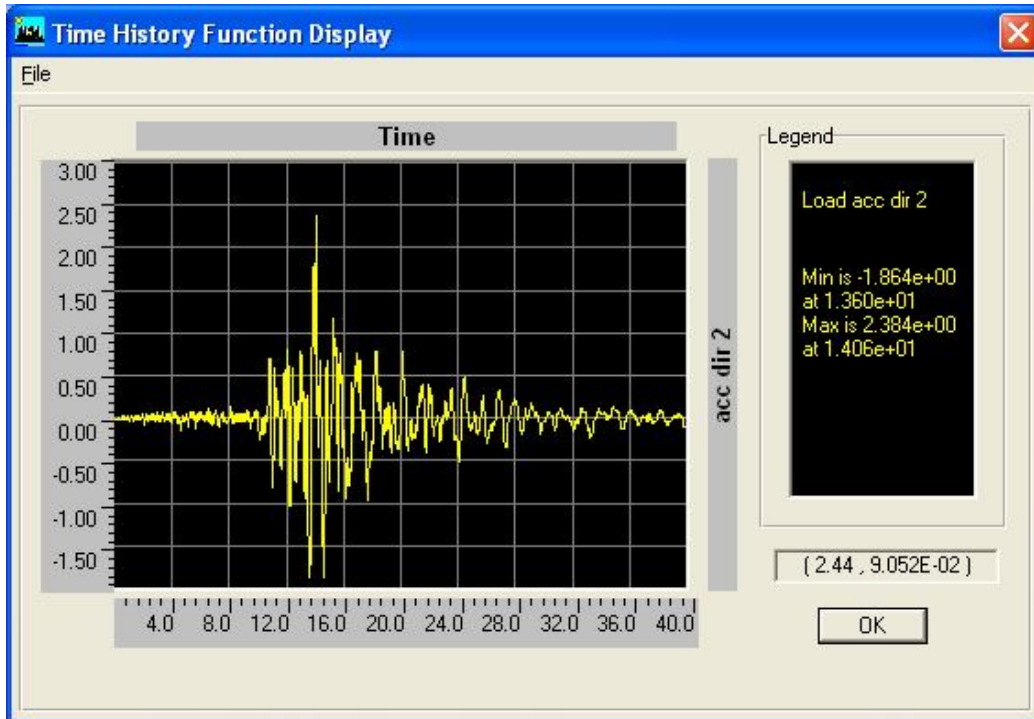
تم تحليل نماذج الأبنية المدروسة باستخدام طريقة التحليل اللاخطي للسجل الزمني Time History، وذلك بمساعدة برنامج الـ ETABS.

في الواقع عندما يتم استعمال طريقة السجل الزمني، فإنّ ظروف الموقع حيث تم تسجيل بيانات الزلازل تؤثر وبشكل كبير على متحولات التصميم للمنشأ. مثلاً عندما تكون التربة ناعمة تزداد استجابة المنشأ، وبذلك فإنّ بيانات الحركات الزلزالية المختارة من أجل التحليل باستعمال طريقة السجل الزمني يجب أن تسجل على ظروف تربة مشابهة لتربة موقع المبنى المدروس. هذا يعني أنّ ظروف الموقع يجب أن تؤخذ بالاعتبار إضافةً لبعدها عن المصدر الزلزالي وشدة الزلازل. ولكن بما أنه لا يوجد في سورية تسجيلات لتسارعات زلازل قوية حقيقية حدثت في المنطقة. لذلك ووفقاً للملحق الثاني للكوود العربي السوري، يمكن إجراء تحليل الاستجابة الديناميكية لمنشأ ما باستخدام معطيات زلازل حقيقية مناسبة عددها ثلاثة أزواج من التسجيلات الزلزالية بالاتجاهين الأفقيين (x,y) حيث تؤخذ القيمة الأعظمية للاستجابة عند التصميم أو يمكن استخدام 7 أزواج من التسجيلات وهنا تؤخذ الاستجابة الوسطية.

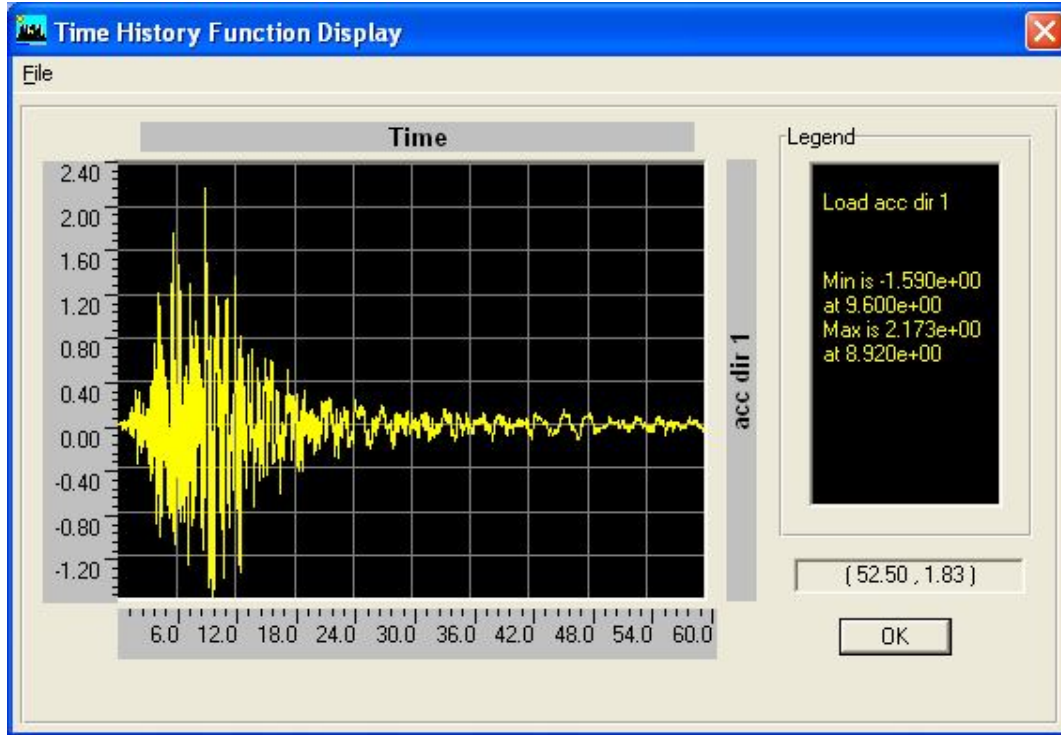
في هذه الدراسة قمنا بإجراء التحليل الديناميكي للنماذج المدروسة تحت تأثير زلزال لوما بريتا وزلزال لوس أنجلوس وقد تم الاكتفاء بهذين الزلازلين على اعتبار أننا لسنا بصدد تصميم النماذج، وإنما تحليلها بهدف تبيان مساهمة هذين العازلين المدروسين في تخفيض الاستجابة الزلزالية. تبين الأشكال (4-26)، (4-27)، (4-28)، (4-29) السجل الزمني لزلزال لوما بريتا ولوس أنجلوس وفق المحورين X,Y. لقد استخدمنا نسبة تخامد ثابتة لكل الأنماط (للمبنى غير المعزول 5% وللمبنى المعزول 2%). ودرسنا المركبتين الأفقيتين للزلزال وأهملنا المركبة الثالثة الشاقولية على اعتبار أن المنشأ يمتلك صلابة شاقولية عالية وأن المركبات الشاقولية والأفقية للحركات الأرضية قلما تتراكم ما لم يكن المنشأ في منطقة الفالق الزلزالي (قريب من المصدر الزلزالي) [12].



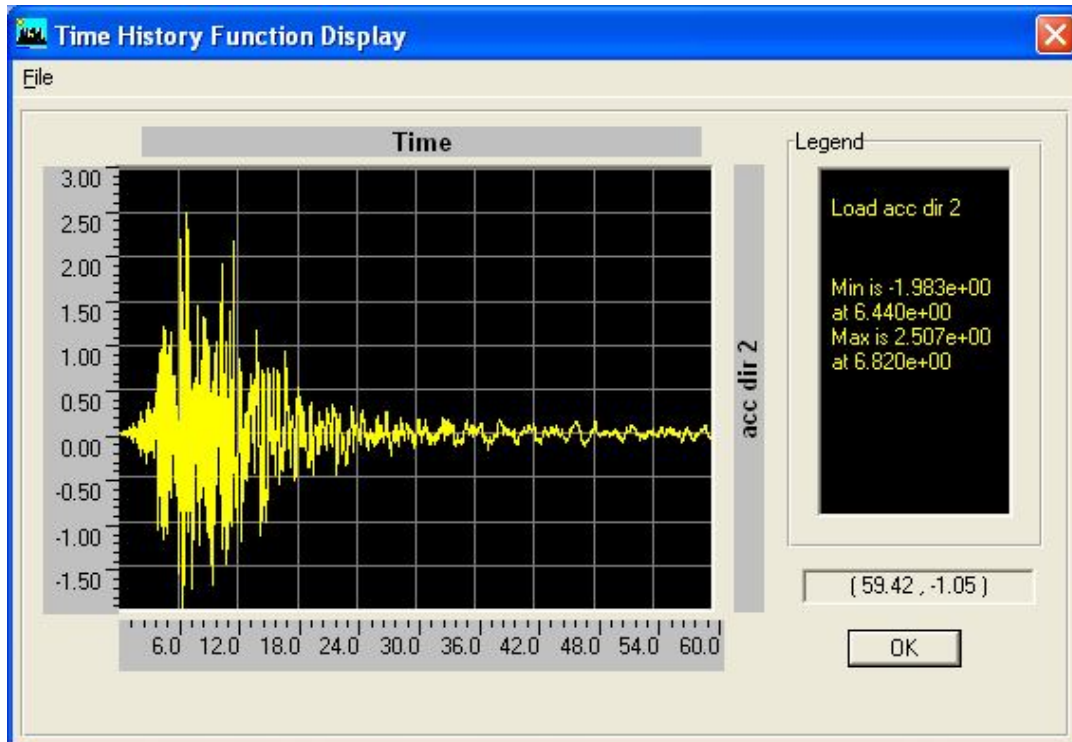
الشكل (4-26) السجل الزمني لزلزال لوما بريتا وفق المحور (X)



الشكل (4-27) السجل الزمني لزلزال لوما بريتا وفق المحور (Y)

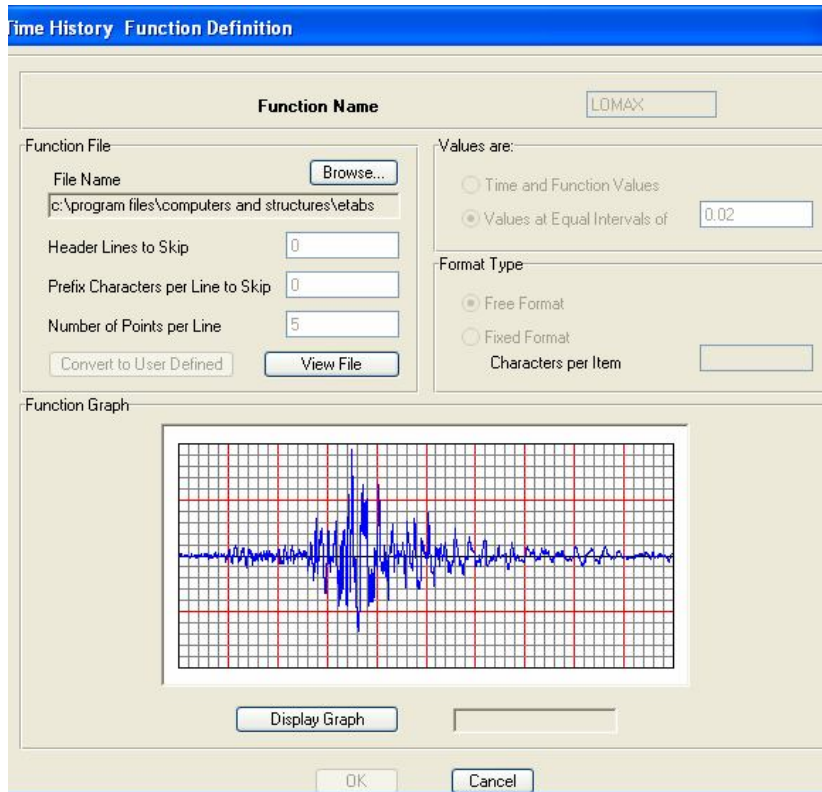
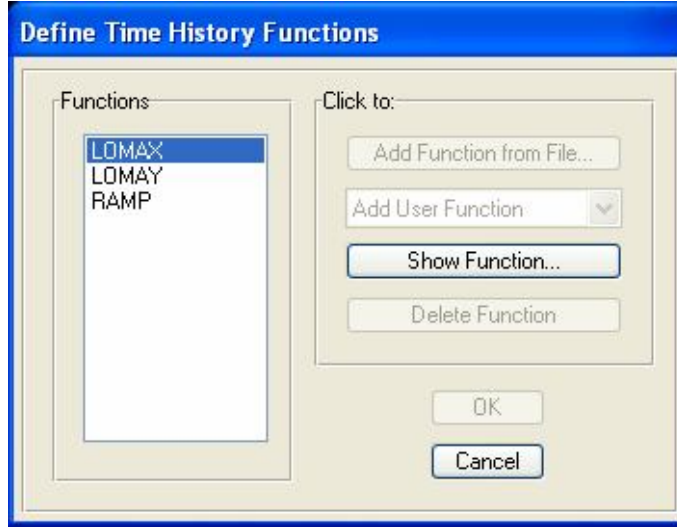


الشكل(4-28) السجل الزمني لزلزال لوس أنجلوس وفق المحور (X)



الشكل(4-29) السجل الزمني لزلزال لوس أنجلوس وفق المحور (Y)

من أجل تعريف السجل الزمني لزلزال لوما بريتا، عرفنا تابعين هما LOMAX, LOMAY وذلك وفق المحورين X,Y كما يبيّن الشكل(4-30) وكذلك الأمر بالنسبة لزلزال لوس أنجلوس.



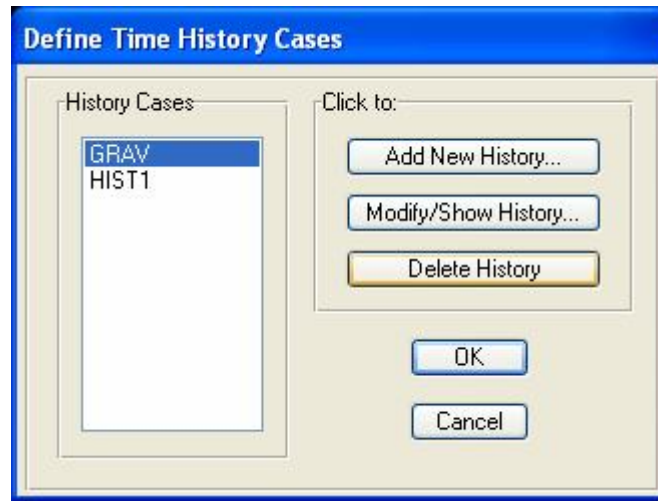
الشكل(4-30) تعريف تابع زلزال لوما بريتا وفق المحور X

هناك حالتان للتحليل كما يبيّن الشكل(4-31):

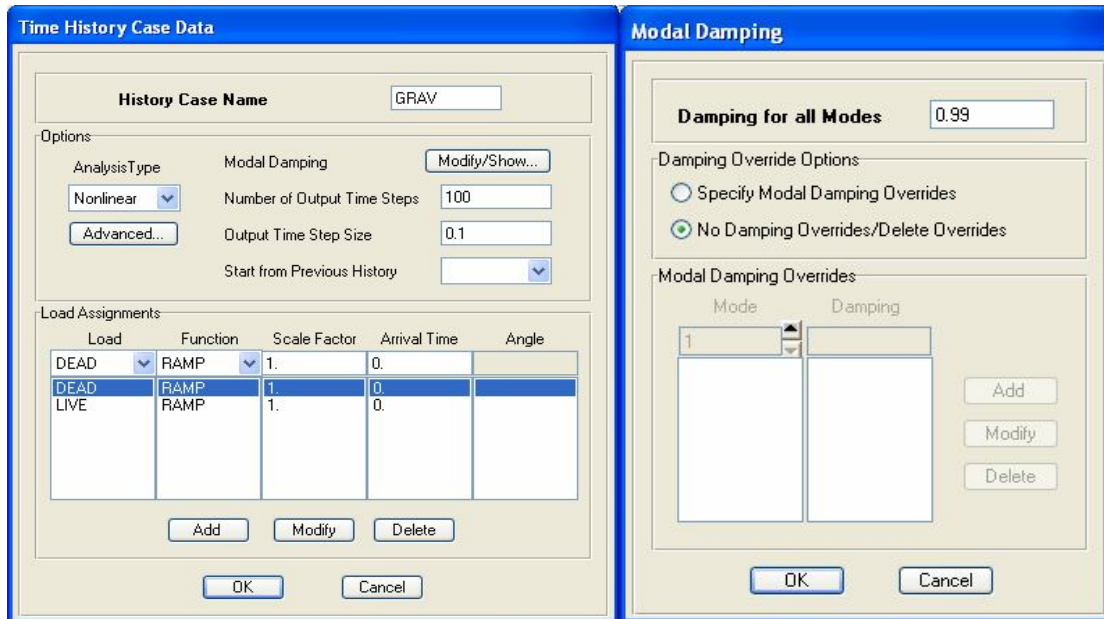
GRAV -1 الشكل(4-32): في هذه الحالة يتم تطبيق الحمولة الستاتيكية (الحمولتان الحية والميتة) على المنشأ بشكل تدريجي باستخدام دالة زمنية خطية متزايدة (Ramp) مزروعة ضمن البرنامج ،

يتم اعتبار تخامد إجمالي لكافة الأنماط مقداره 99% لتجنب النمط الاهتزازي . إذ تعتبر القيمة الكبيرة للتخميد هامة بشكل خاص في التحليل الديناميكي اللاخطي حتى لا تسبب الذبذبة سلوك تخلفي غير حقيقي.

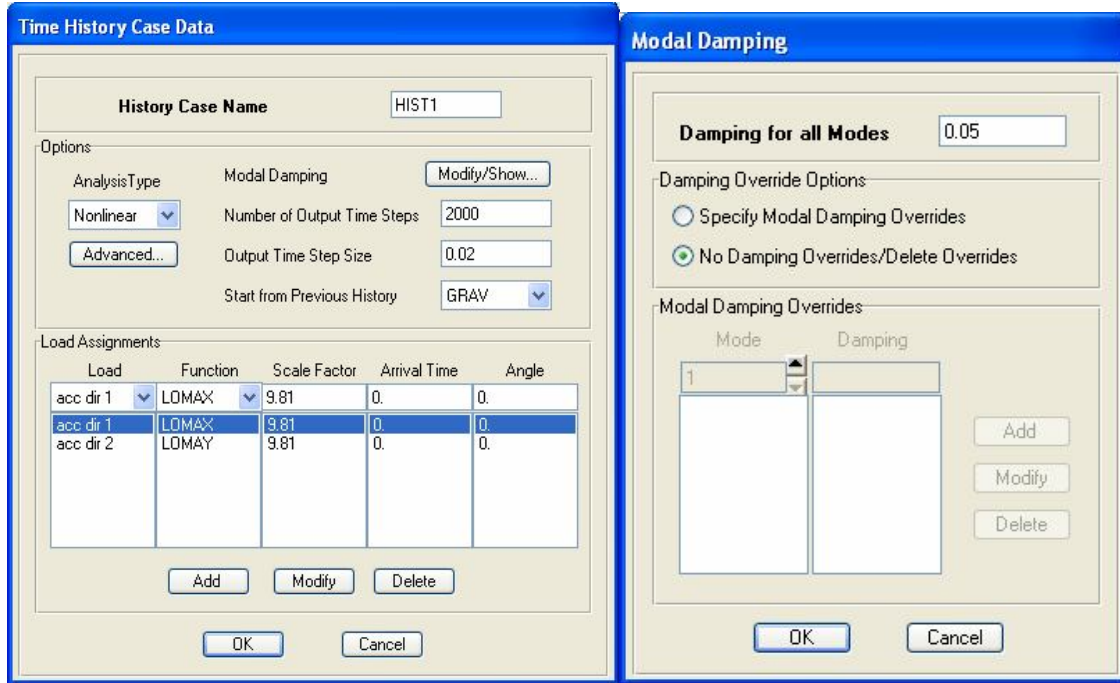
HIST1-2 الشكل (4-33): هي حالة تطبق فيها تسارعات الحمولة الزلزالية على المنشأ ابتداءً من الحالة الأولى، إذ تعتبر نتائج حالة التحليل الأولى هي شروط ابتدائية لحالة التحليل الثانية. يعتبر التخامد في حالة التحليل هذه مساوٍ لـ 5% بالنسبة للمنشأ غير المعزول و 2% للمنشأ المعزول. تظهر الأشكال التالية تعريف حالات التحليل ضمن البرنامج Etabs.



الشكل (4-31) تعريف حالات التحليل



الشكل (4-32) تعريف حالة التحليل الأولى GRAV



الشكل (4-33) تعريف حالة التحليل الثانية HIST1

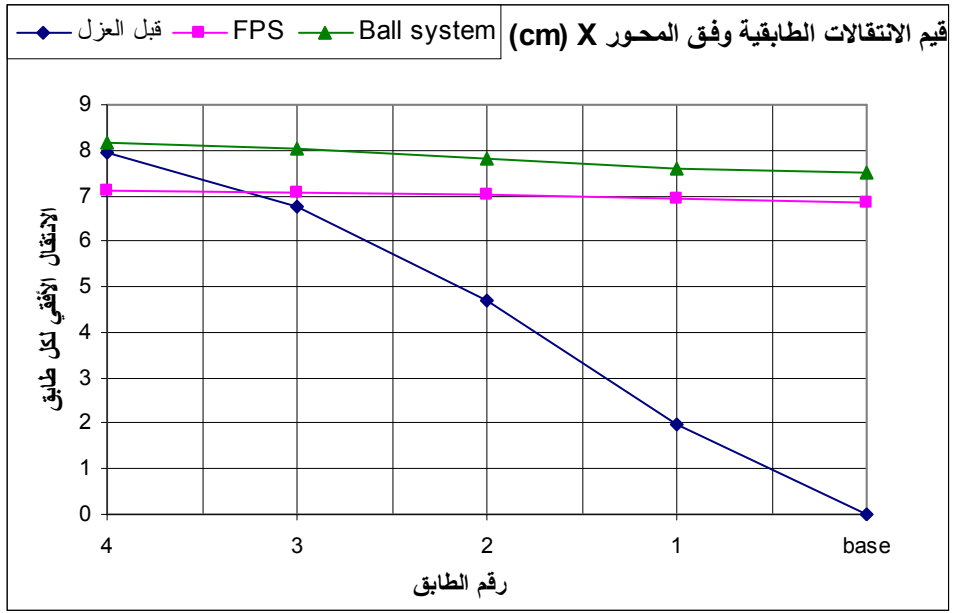
4-4- مقارنة بين السلوك الديناميكي للأبنية المعزولة وغير المعزولة زلزالياً:

Comparison of Dynamic behaviour for isolated and non-isolated buildings

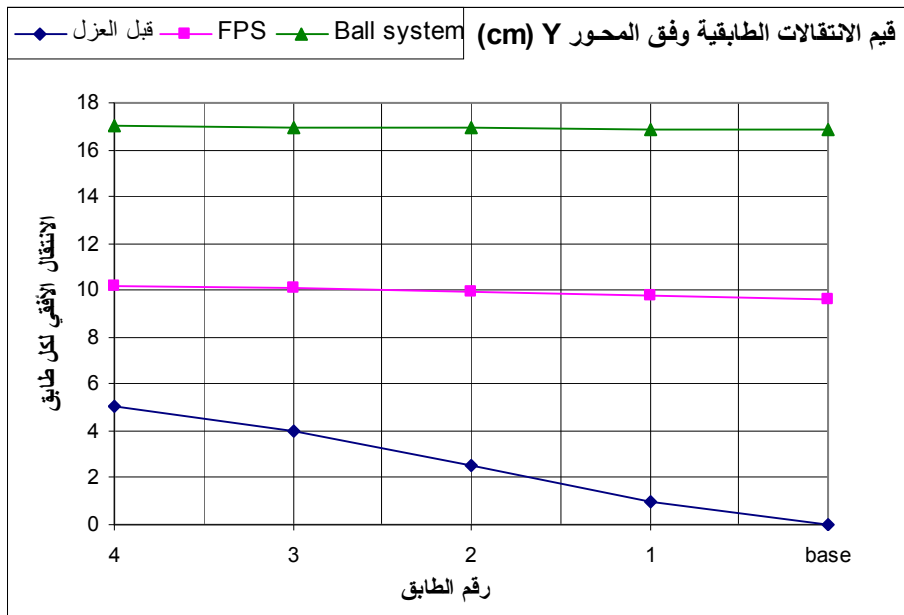
لقد قمنا بتقييم الاستجابة الديناميكية للنماذج المدروسة قبل وبعد العزل و تتضمن هذه الاستجابة كلاً من قيمة الانتقال الأعظمي في كل طابق، قيمة التسارع المطلق الأعظمية في كل طابق وقيم القص القاعدي تحت تأثير الزلازل المذكورين آنفاً. من أجل الحصول على القيمة العظمى لكل مقدار استجابة في كل طابق، اخترنا مجموعة من النقاط المميزة وبحيث تغطي كامل سطح الطابق، ثم قمنا بالاستجابة العظمى في كل نقطة من النقاط المختارة وأخذنا أكبر قيمة بينها وذلك من أجل كل حالة مدروسة.

نورد فيما يلي الجداول (4-18) → (4-7) التي تبيّن مقادير الاستجابة للنماذج المدروسة. وكذلك الأشكال (4-57) → (4-34) والتي تظهر قيم الانتقالات الطابقية للنماذج تحت تأثير زلالي لوما بريتا ولوس أنجلوس.

الجدول (4-7) مقادير الاستجابة للنموذج A بتأثير زلزال لوما برينا					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
8.150	7.11	7.94	4	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
8.030	7.07	6.77	3		
7.830	7.01	4.71	2		
7.600	6.93	1.96	1		
7.520	6.86	0	base		
0.375	0.999	5.281	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.341	0.734	4.956	3		
0.287	0.499	4.532	2		
0.279	0.704	2.427	1		
0.356	0.967	1.874	base		
44.92	77.85	331.1		ton	(X) القص القاعدي
17.03	10.180	5.01	4	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
16.96	10.090	3.98	3		
16.91	9.94	2.53	2		
16.89	9.75	0.96	1		
16.84	9.64	0	base		
0.554	1.219	7.128	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.476	0.884	5.521	3		
0.428	0.629	4.569	2		
0.499	0.910	3.410	1		
0.547	1.148	2.384	base		
85.6	98.78	428.80		ton	القص القاعدي (Y)

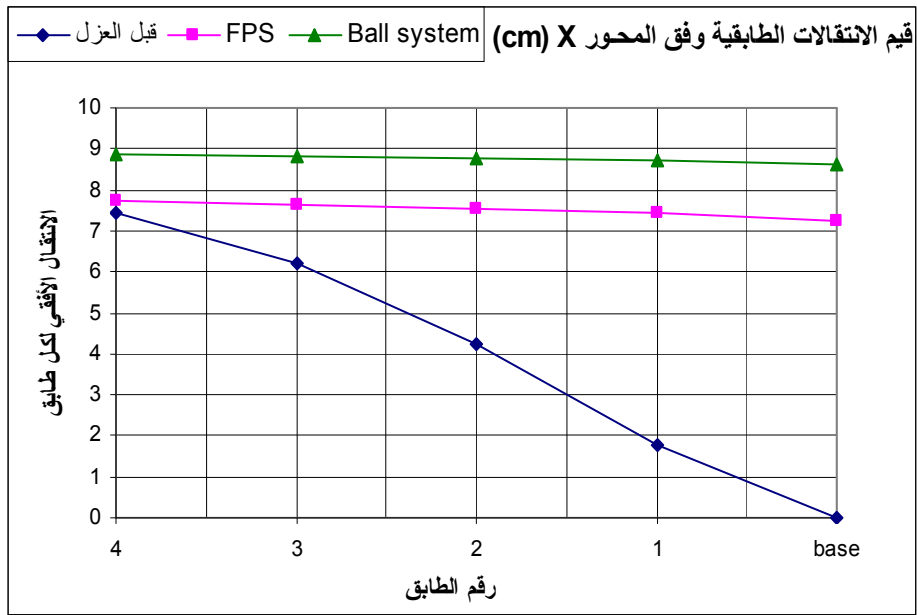


الشكل (4-34) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج A وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

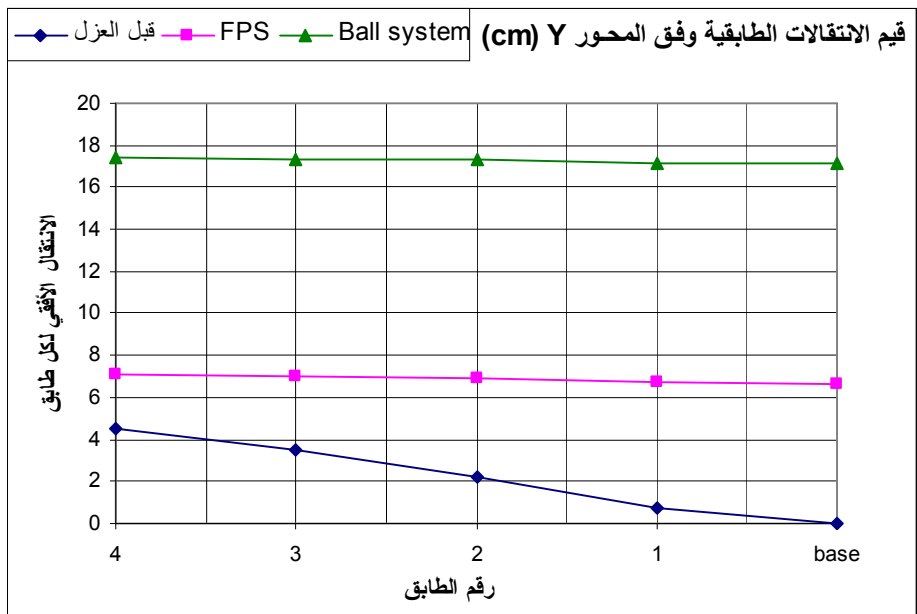


الشكل (4-35) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج A وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

الجدول (4-8) مقادير الاستجابة للنموذج A بتأثير زلزال لوس أنجلوس					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
8.86	7.72	7.440	4	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
8.82	7.66	6.210	3		
8.76	7.55	4.260	2		
8.7	7.42	1.750	1		
8.63	7.26	0	base		
0.487	1.275	6.559	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.40	0.841	5.444	3		
0.352	0.649	4.467	2		
0.384	0.807	3.455	1		
0.436	1.061	2.173	base		
52.13	69.75	278		ton	القص القاعدي (X)
17.39	7.08	4.520	4	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
17.36	6.97	3.510	3		
17.29	6.87	2.180	2		
17.18	6.77	0.780	1		
17.13	6.68	0	base		
0.609	1.381	7.449	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.584	0.850	5.271	3		
0.556	0.555	5.207	2		
0.557	0.918	4.155	1		
0.564	1.266	2.507	base		
84.41	99.46	329.8		ton	القص القاعدي (Y)

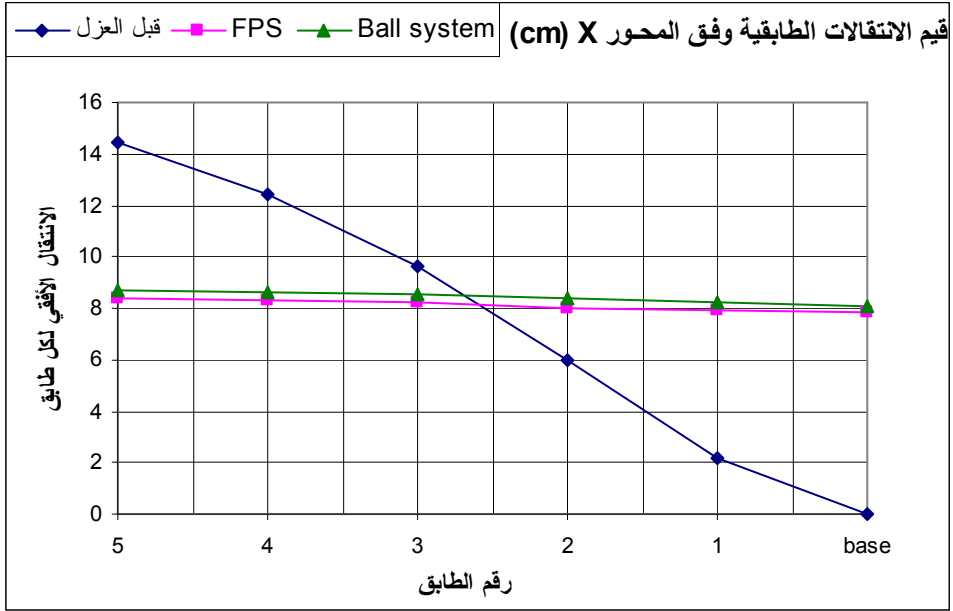


الشكل (4-36) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج A وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

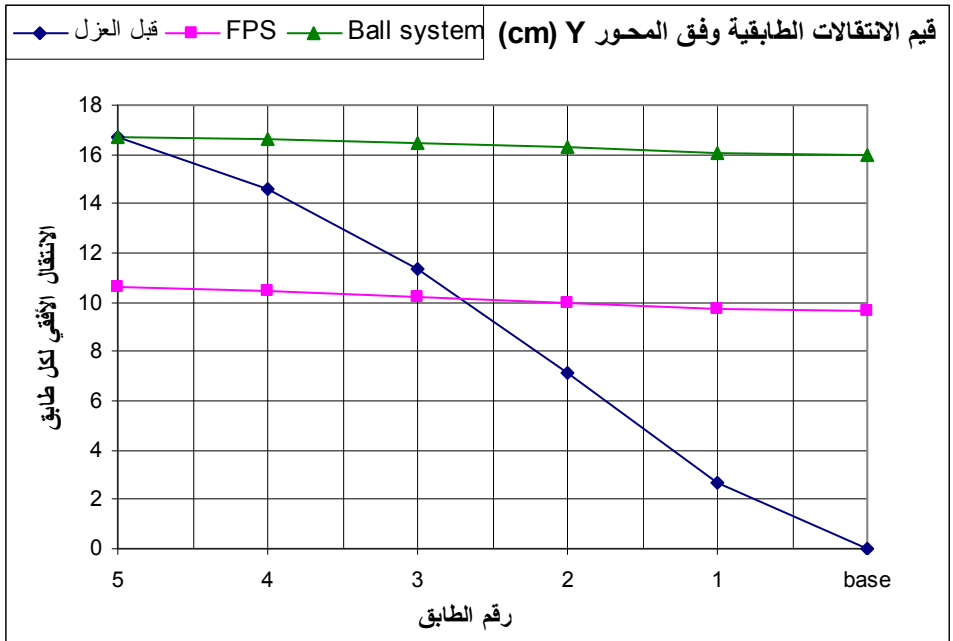


الشكل (4-37) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج A وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

الجدول (4-9) مقادير الاستجابة للنموذج B بتأثير زلزال لوما بريتا					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الواحدة	
Ball system	FPS				
8.72	8.410	14.430	5	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
8.66	8.340	12.440	4		
8.55	8.230	9.600	3		
8.39	8.030	5.980	2		
8.21	7.930	2.210	1		
8.09	7.840	0.000	base		
0.392	1.257	5.182	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.364	0.904	4.282	4		
0.262	0.547	3.910	3		
0.272	0.495	3.276	2		
0.306	0.886	2.525	1		
0.390	1.163	1.874	base		
50.64	89.200	363.70		ton	القص القاعدي (X)
16.69	10.61	16.680	5	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
16.6	10.430	14.560	4		
16.47	10.210	11.320	3		
16.29	9.960	7.130	2		
16.09	9.750	2.700	1		
15.97	9.640	0.000	base		
0.814	1.446	7.875	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.586	0.977	5.814	4		
0.478	0.833	6.054	3		
0.501	0.906	5.459	2		
0.684	1.220	3.801	1		
0.684	1.090	2.384	base		
60.91	75.47	445.60		ton	القص القاعدي (Y)



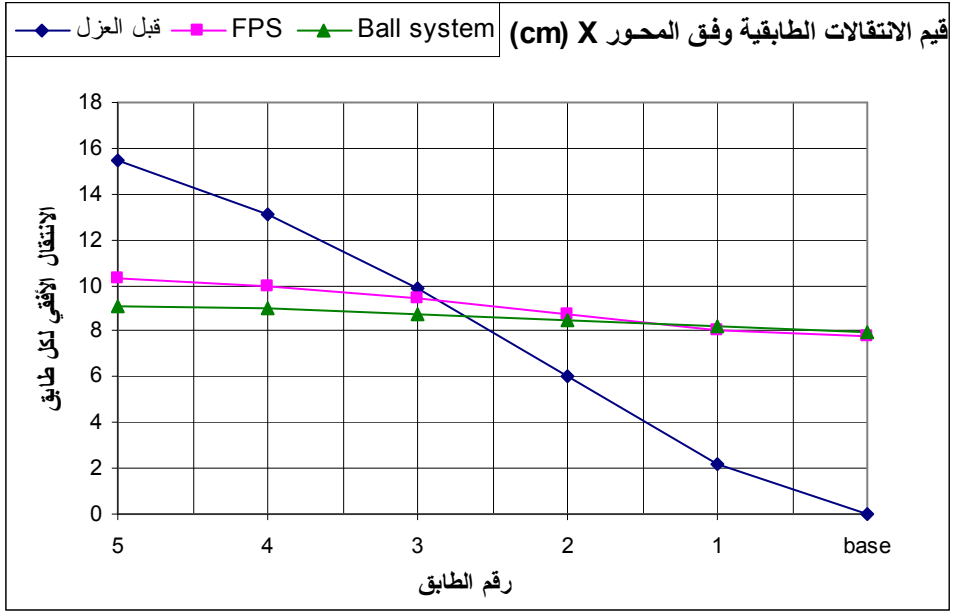
الشكل (4-38) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج B وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا.



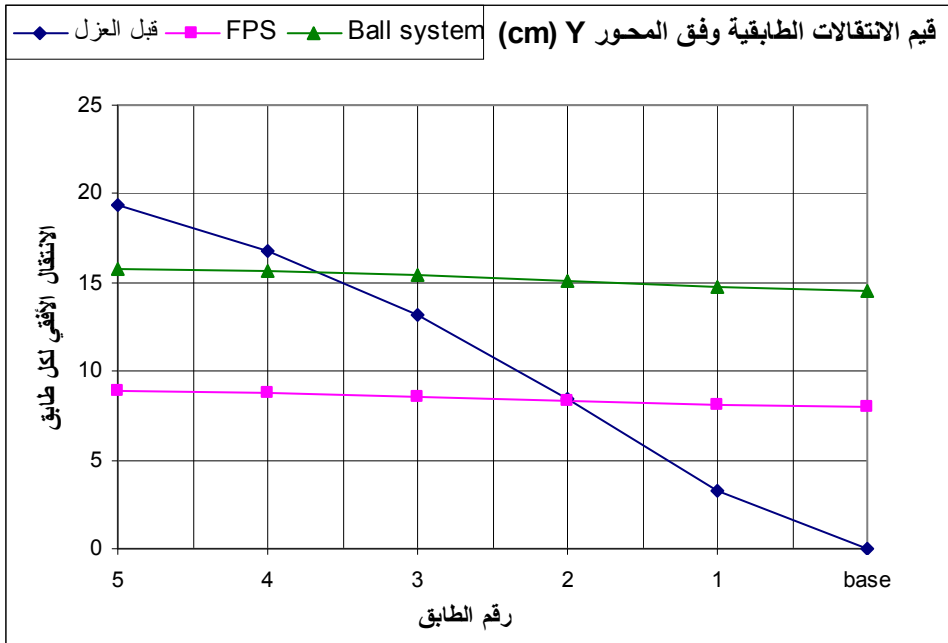
الشكل (4-39) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج B وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

الجدول (4-10) مقادير الاستجابة للنموذج B بتأثير زلزال لوس أنجلوس

بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
9.13	10.310	15.490	5	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور X
8.96	9.930	13.130	4		
8.74	9.430	9.900	3		
8.46	8.770	6.030	2		
8.17	8.070	2.190	1		
7.95	7.750	0.000	base		
0.474	1.385	6.546	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.401	1.010	4.837	4		
0.313	0.695	4.230	3		
0.259	0.587	3.934	2		
0.336	0.956	2.739	1		
0.4636	1.243	2.173	base		
59.35	79.13	340.70		ton	القص القاعدي (X)
15.81	8.920	19.330	5	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور Y
15.64	8.780	16.830	4		
15.41	8.580	13.180	3		
15.1	8.350	8.430	2		
14.75	8.100	3.220	1		
14.49	7.980	0.000	base		
0.714	1.696	10.400	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.625	0.904	8.114	4		
0.617	0.651	7.449	3		
0.651	0.688	7.334	2		
0.652	1.154	3.824	1		
0.689	1.321	2.507	base		
61.42	103.60	318.00		ton	القص القاعدي (Y)

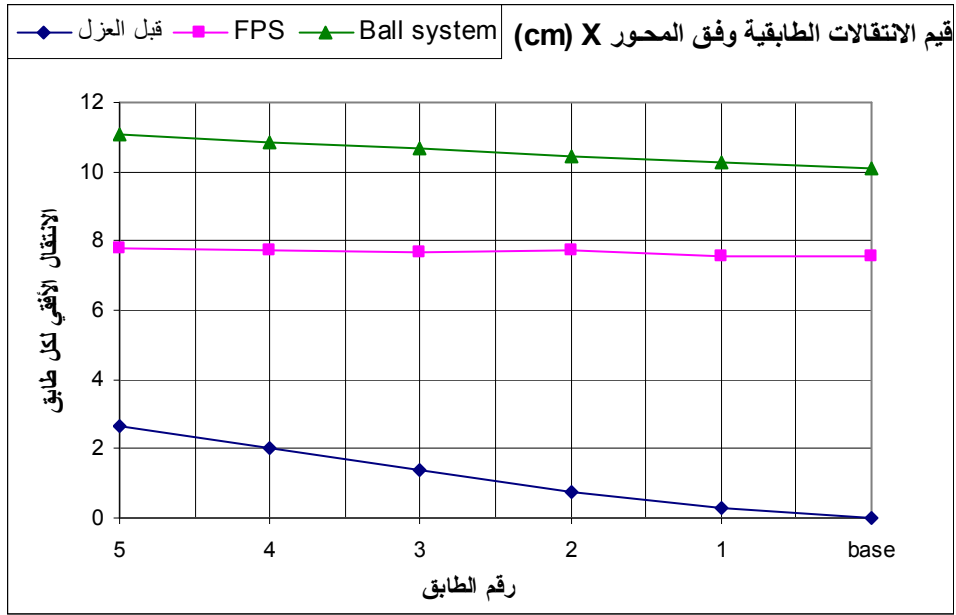


الشكل (4-40) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج B وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

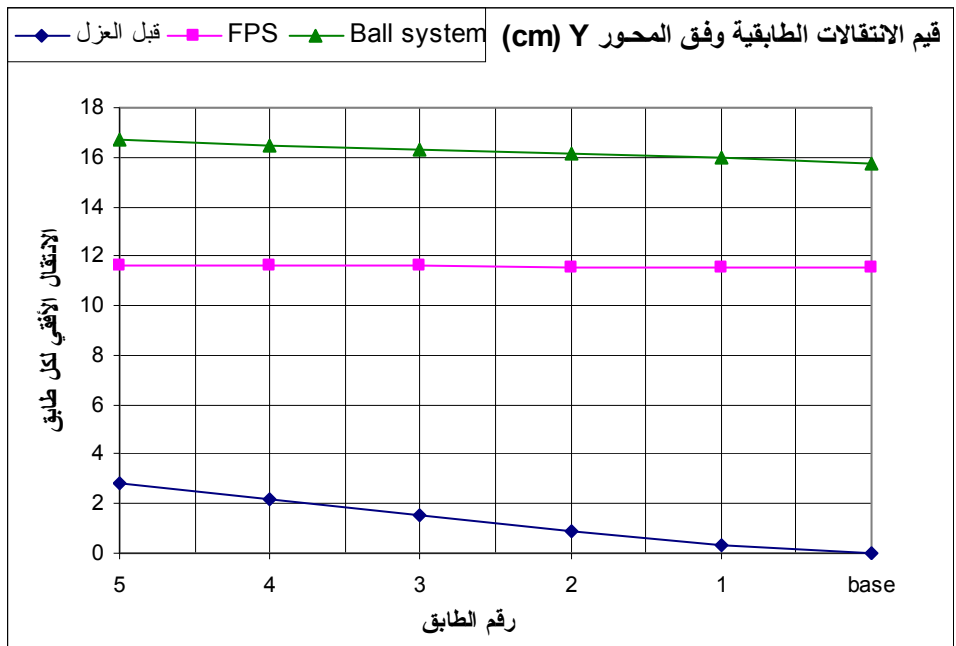


الشكل (4-41) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج B وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

الجدول (4-11) مقادير الاستجابة للنموذج C بتأثير زلزال لوما برينا					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
11.06	7.760	2.650	5	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
10.86	7.720	2.010	4		
10.66	7.670	1.360	3		
10.46	7.720	0.760	2		
10.27	7.560	0.260	1		
10.09	7.530	0	base		
0.555	1.407	5.296	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.446	0.842	4.129	4		
0.347	0.540	2.919	3		
0.384	0.697	2.003	2		
0.473	0.975	1.916	1		
0.544	1.181	1.874	base		
83.58	122.30	466.90		ton	القص القاعدي (X)
16.67	11.650	2.820	5	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
16.5	11.640	2.190	4		
16.33	11.610	1.500	3		
16.15	11.570	0.860	2		
15.95	11.530	0.300	1		
15.77	11.520	0	base		
0.757	1.378	7.280	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.614	1.058	5.849	4		
0.567	0.906	4.331	3		
0.567	0.893	3.059	2		
0.598	0.965	2.211	1		
0.733	1.203	2.384	base		
119.9	143.9	716.30		ton	القص القاعدي (Y)

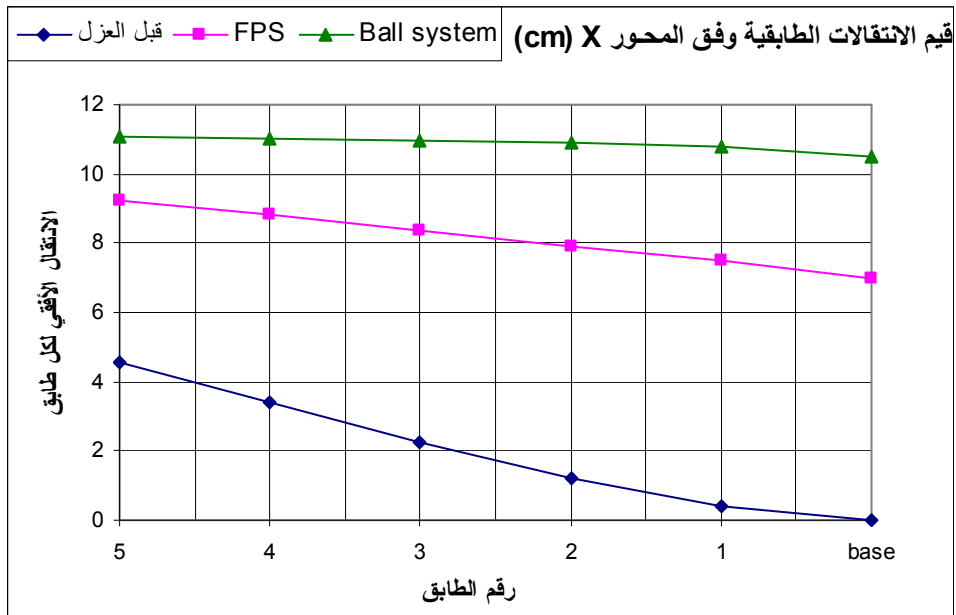


الشكل (4-42) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

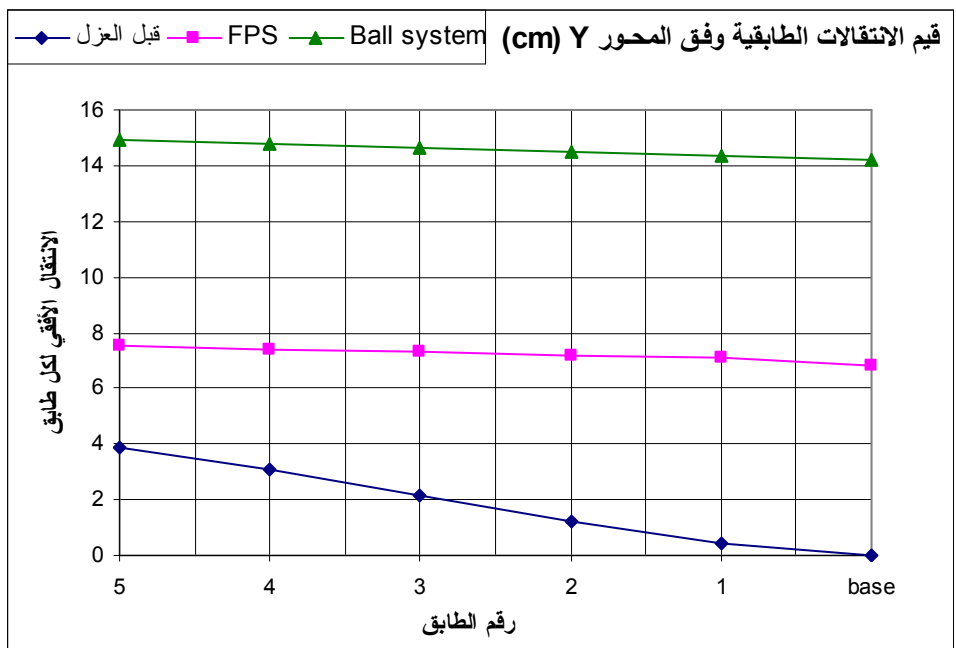


الشكل (4-43) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

الجدول(4-12) مقادير الاستجابة للنموذج C بتأثير زلزال لوس أنجلوس					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الواحدة	
Ball system	FPS				
11.1	9.24	4.53	5	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
11.03	8.80	3.39	4		
10.95	8.36	2.23	3		
10.88	7.91	1.19	2		
10.81	7.48	0.39	1		
10.5	7	0	base		
0.509	1.389	9.962	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.395	0.983	6.824	4		
0.350	0.728	4.311	3		
0.343	0.593	2.946	2		
0.363	0.991	2.513	1		
0.442	1.388	2.173	base		
89.35	136.40	685.6		ton	القص القاعدي (X)
14.89	7.520	3.88	5	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
14.76	7.410	3.06	4		
14.64	7.290	2.16	3		
14.51	7.190	1.22	2		
14.37	7.080	0.41	1		
14.22	6.8	0	base		
0.835	1.855	8.154	5	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.695	1.030	6.060	4		
0.670	0.674	5.306	3		
0.645	0.710	3.433	2		
0.631	1.249	2.551	1		
0.736	1.482	2.507	base		
132.5	191.80	651.90		ton	القص القاعدي (Y)



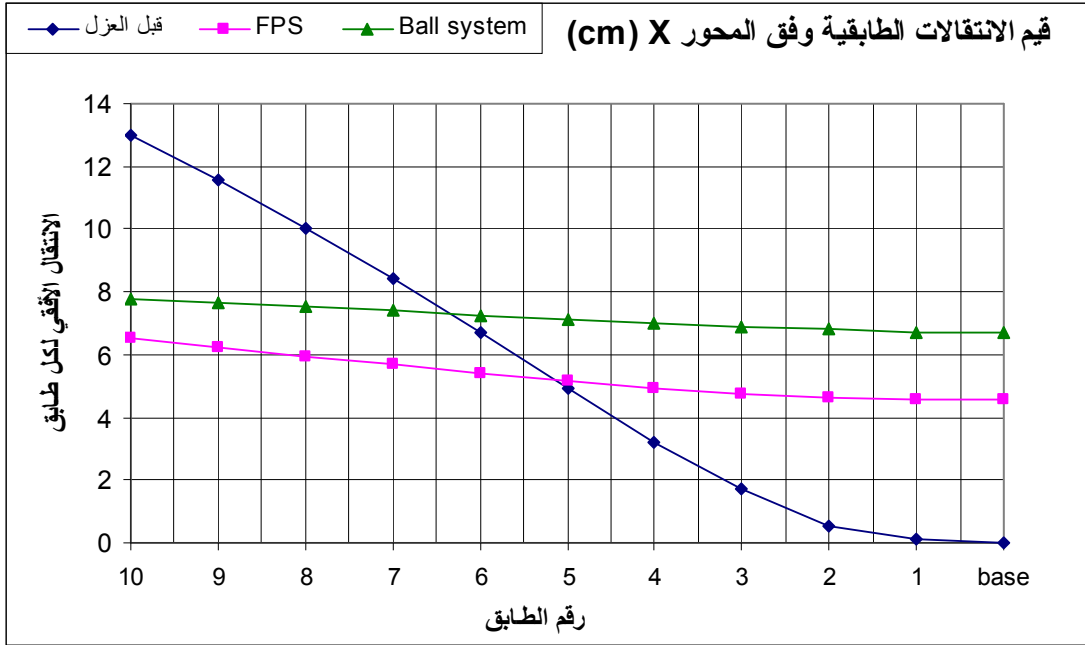
الشكل (4-44) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.



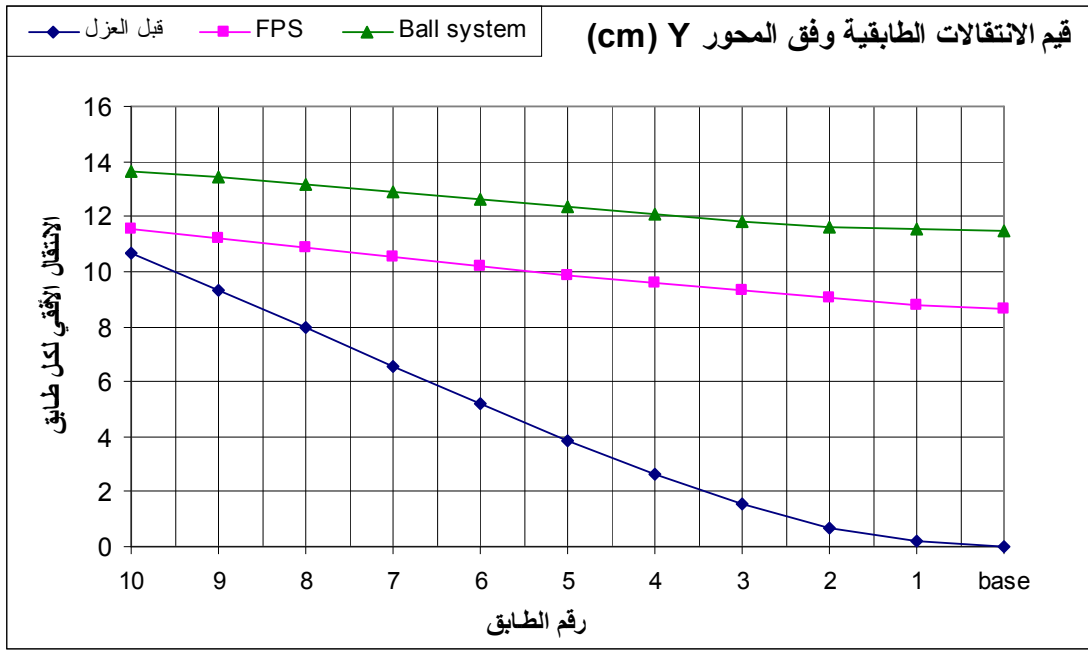
الشكل (4-45) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

الجدول (4-13) مقادير الاستجابة للنموذج D بتأثير زلزال لوما بريتا					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
7.76	6.51	12.98	10	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
7.67	6.24	11.55	9		
7.51	5.96	10.03	8		
7.39	5.68	8.41	7		
7.26	5.42	6.68	6		
7.13	5.16	4.92	5		
7.01	4.93	3.22	4		
6.89	4.75	1.7	3		
6.80	4.63	0.55	2		
6.71	4.57	0.12	1		
6.69	4.54	0	base		
0.859	1.77	6.693	10	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.736	1.52	5.249	9		
0.605	1.27	4.664	8		
0.465	1.03	4.258	7		
0.399	0.92	3.77	6		
0.373	0.90	3.29	5		
0.384	0.89	2.768	4		
0.441	1.06	2.454	3		
0.534	1.29	1.99	2		
0.582	1.41	1.884	1		
0.6	1.46	1.874	base		
210.8	433.8	1207		ton	القص القاعدي (X)
13.67	11.52	10.68	10	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
13.42	11.20	9.32	9		
13.16	10.87	7.96	8		
12.89	10.54	6.58	7		
12.62	10.21	5.2	6		
12.34	9.89	3.88	5		
12.07	9.58	2.64	4		
11.83	9.30	1.53	3		
11.64	9.06	0.65	2		
11.52	8.78	0.19	1		
11.46	8.66	0	base		
0.899	2.41	7.651	10	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
0.791	2.07	6.046	9		
0.717	1.73	5.043	8		
0.668	1.37	4.941	7		
0.676	1.17	4.63	6		

تابع للجدول (4-13)					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y القص القاعدي (Y)
Ball system	FPS				
0.714	1.16	4.267	5		
0.753	1.37	3.755	4		
0.788	1.63	3.082	3		
0.816	1.88	2.667	2		
0.831	2.04	2.438	1		
0.837	2.16	2.384	base		
342.8	524.2	1486		ton	



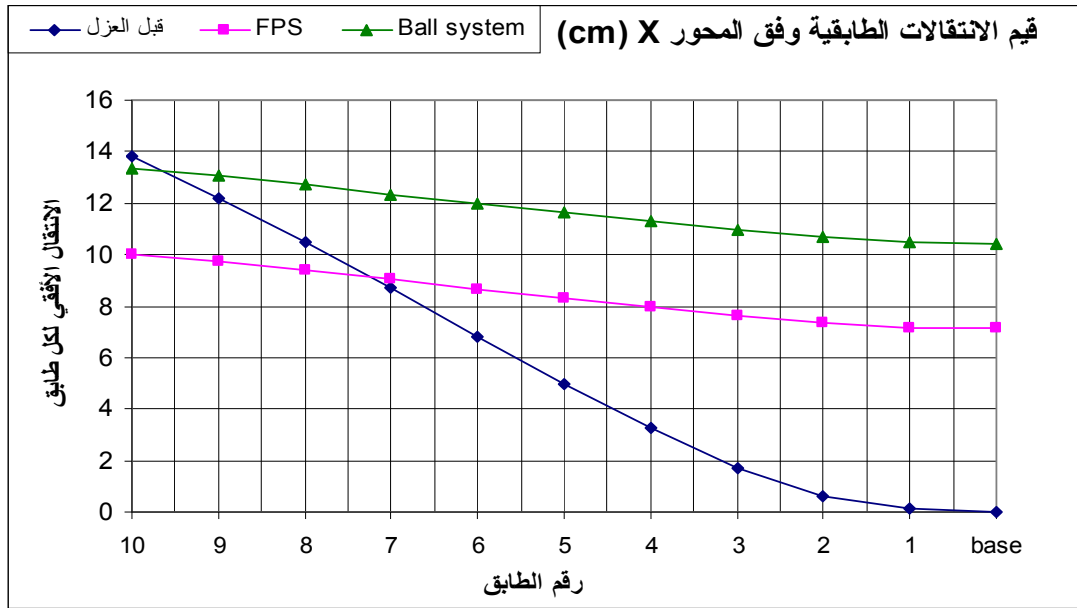
الشكل (4-46) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج D وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا.



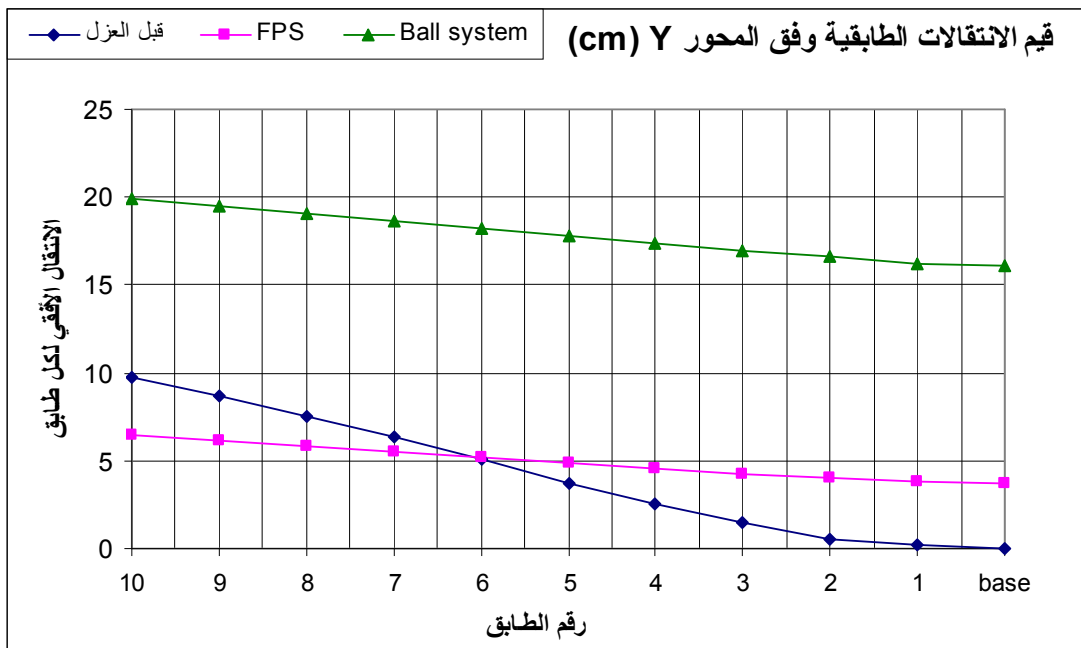
الشكل (4-47) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج D وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

الجدول (4-14) مقادير الاستجابة للنموذج D بتأثير زلزال لوس أنجلوس				الوحدة	
بعد العزل		رقم الطابق	قبل العزل	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور X
Ball system	FPS				
13.36	10.03	10			
13.04	9.72	9			
12.7	9.39	8			
12.35	9.04	7			
11.99	8.68	6			
11.63	8.31	5			
11.28	7.94	4			
10.97	7.6	3			
10.72	7.33	2			
10.49	7.18	1			
10.42	7.12	base			
1.325	2.823	10			
1.177	2.432	9			
1.024	2.017	8			
0.8671	1.571	7			
0.7249	1.095	6			
0.6499	1.096	5			
0.6938	1.284	4			
0.7689	1.613	3			
0.8385	1.783	2			

تابع للجدول (4-14)							
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق		Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X		
Ball system	FPS						
0.875	1.929	2.192	1				
0.8936	2.287	2.173	base				
388	557	1212		ton	القص القاعدي (X)		
19.87	6.41	9.75	10	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور Y		
19.47	6.1	8.68	9				
19.06	5.79	7.55	8				
18.63	5.47	6.32	7				
18.2	5.16	5.05	6				
17.77	4.85	3.76	5				
17.34	4.56	2.52	4				
16.94	4.28	1.44	3				
16.59	4.04	0.57	2				
16.24	3.82	0.18	1				
16.08	3.69	0	base				
1.605	2.759	7.681	10			m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
1.454	2.266	5.219	9				
1.298	1.76	3.959	8				
1.144	1.325	4.54	7				
0.9962	1.081	4.734	6				
0.9572	1.081	4.611	5				
1.057	1.424	4.365	4				
1.158	1.66	3.614	3				
1.244	2.302	2.693	2				
1.289	2.23	2.498	1				
1.31	2.325	2.507	base				
471.9	540.8	1220		ton	القص القاعدي (Y)		



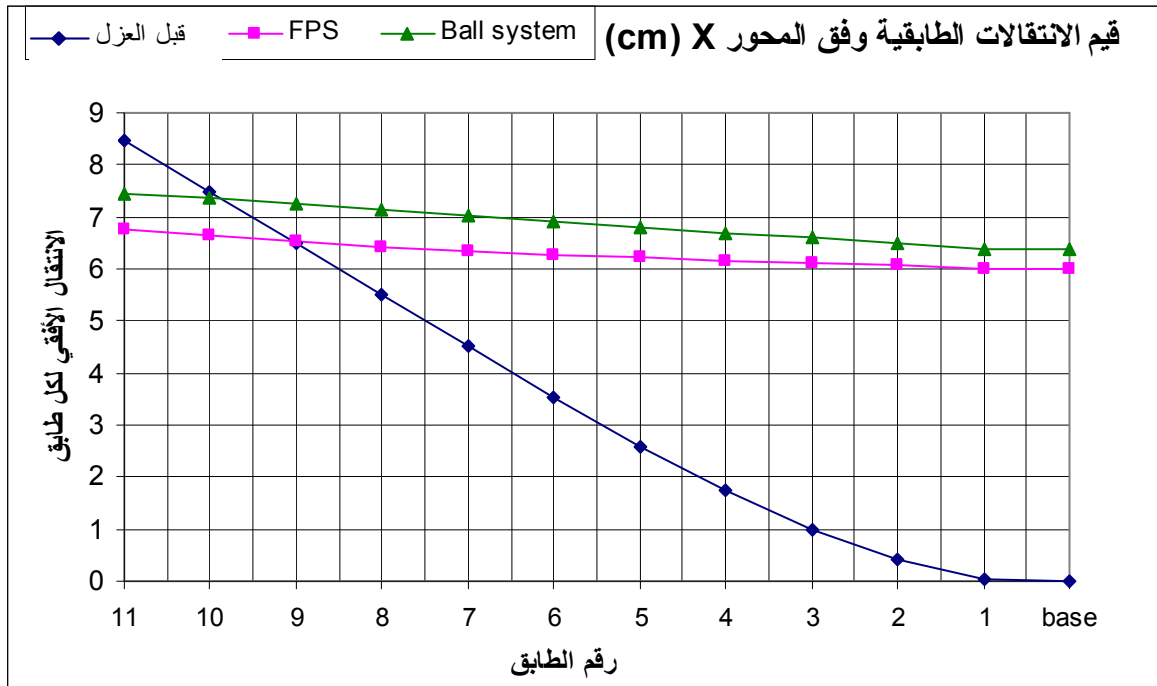
الشكل (4-48) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج D وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.



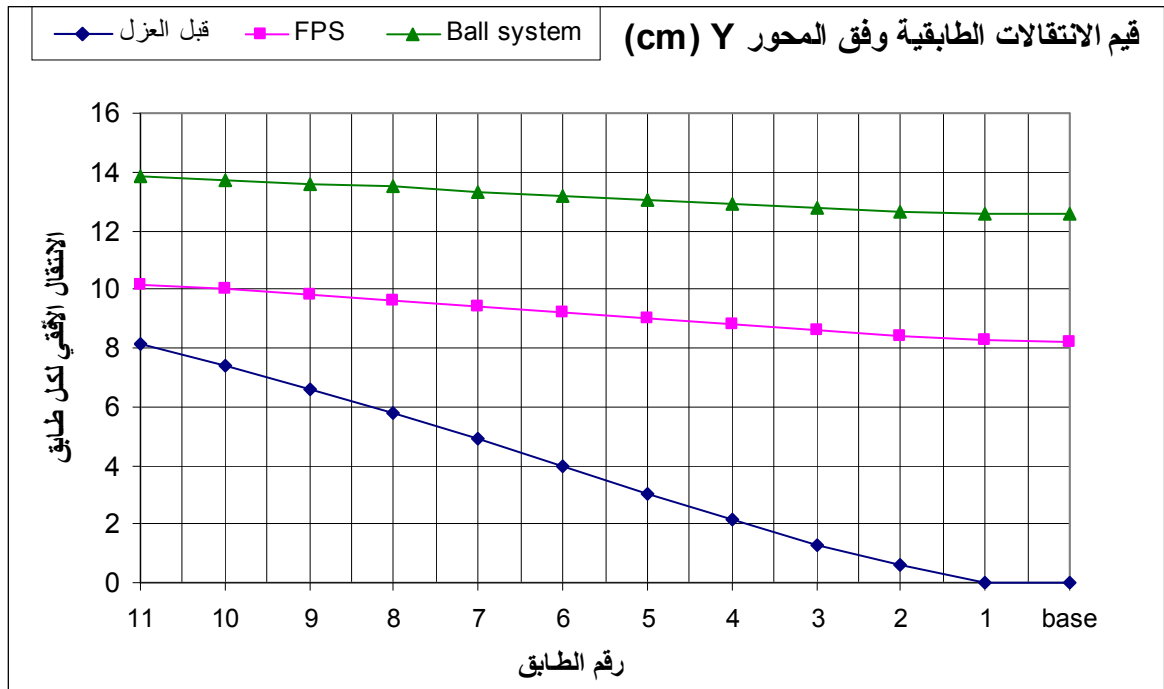
الشكل (4-49) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج D وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

الجدول (4-15) مقادير الاستجابة للنموذج E بتأثير زلزال لوما برينا					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
7.46	6.77	8.46	11	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
7.36	6.64	7.50	10		
7.25	6.52	6.50	9		
7.14	6.43	5.50	8		
7.03	6.34	4.51	7		
6.91	6.27	3.53	6		
6.8	6.22	2.59	5		
6.69	6.17	1.74	4		
6.6	6.13	1.00	3		
6.51	6.09	0.42	2		
6.39	6.01	0.05	1		
6.37	6.01	0	base		
0.6612	1.426	6.552	11	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.567	1.245	5.510	10		
0.4712	1.058	4.656	9		
0.3751	0.867	4.470	8		
0.312	0.673	4.241	7		
0.282	0.524	3.843	6		
0.325	0.576	3.280	5		
0.37	0.686	2.619	4		
0.412	0.887	2.022	3		
0.449	1.059	1.965	2		
0.477	1.19	1.888	1		
0.471	1.217	1.874	base		
347.5	676.6	2599		ton	القص القاعدي (X)
13.86	10.17	8.11	11	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور Y
13.73	10	7.39	10		
13.61	9.81	6.62	9		
13.48	9.62	5.79	8		
13.34	9.42	4.91	7		
13.2	9.22	3.99	6		
13.05	9.01	3.05	5		
12.92	8.81	2.15	4		
12.79	8.61	1.31	3		
12.67	8.43	0.6	2		
12.57	8.28	0.009	1		
12.54	8.22	0	base		

تابع للجدول (4-15)					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
Ball system	FPS				
1.014	1.65	6.695	11	m/sec ²	
0.924	1.435	5.949	10		
0.828	1.231	5.455	9		
0.728	1.024	5.395	8		
0.624	0.829	5.279	7		
0.544	0.759	5.274	6		
0.503	0.736	4.860	5		
0.538	0.89	4.235	4		
0.627	1.05	3.593	3		
0.71	1.195	2.934	2		
0.776	1.312	2.444	1		
0.8	1.355	2.384	base	ton	
699	873	3684			القص القاعدي (Y)



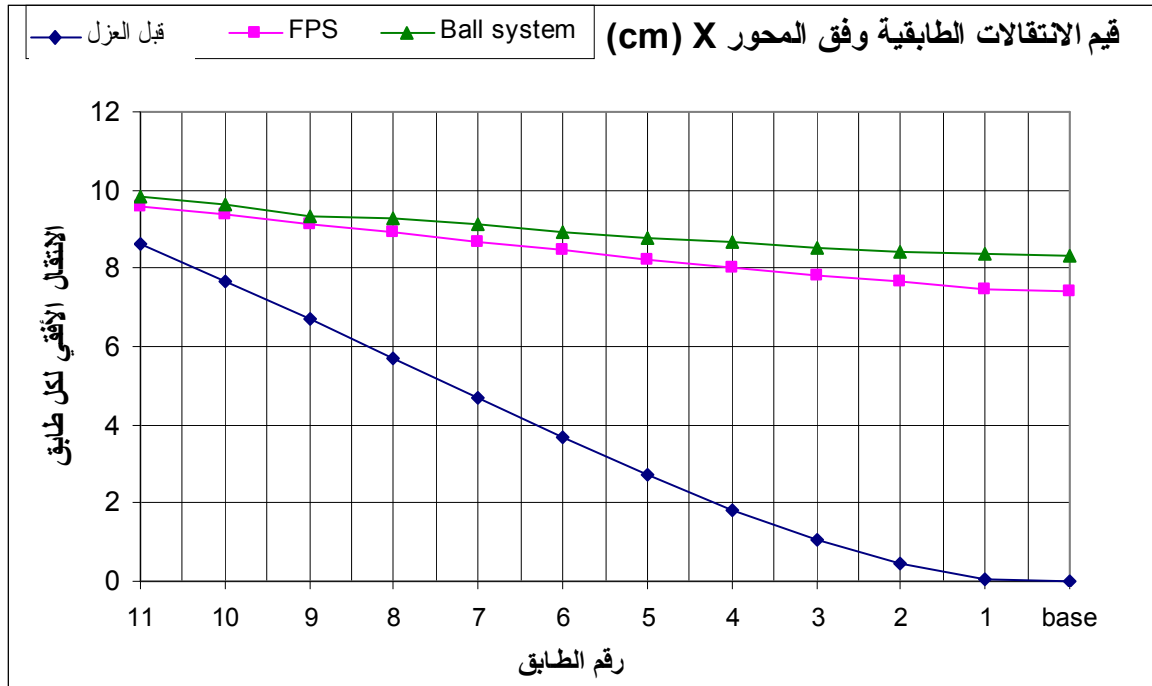
الشكل (4-50) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج E وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما برينا.



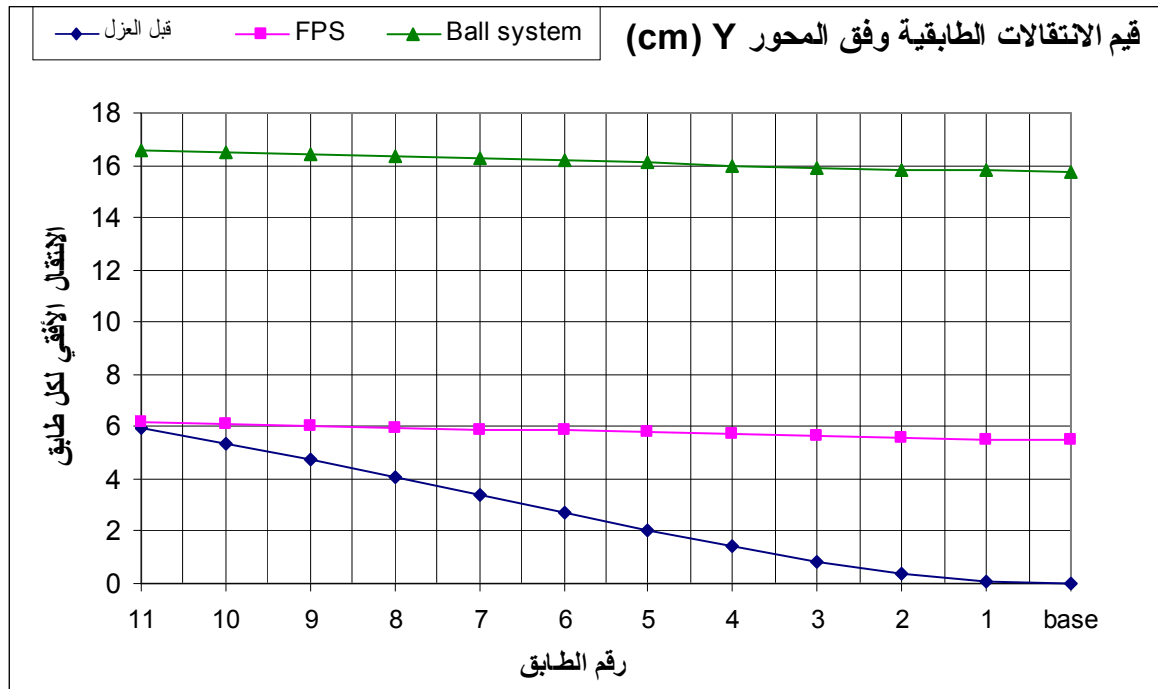
الشكل (4-51) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج E وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما برينتا.

الجدول (4-16) مقادير الاستجابة للنموذج E بتأثير زلزال لوس أنجلوس					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
9.81	9.59	8.620	11	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور X
9.64	9.37	7.660	10		
9.31	9.15	6.690	9		
9.28	8.92	5.700	8		
9.11	8.69	4.690	7		
8.94	8.47	3.690	6		
8.79	8.24	2.730	5		
8.65	8.03	1.840	4		
8.53	7.83	1.070	3		
8.44	7.66	0.450	2		
8.36	7.46	0.050	1		
8.33	7.41	0.000	base		
1.039	1.585	7.686	11		
0.927	1.338	5.965	10		
0.811	1.084	4.715	9		
0.693	0.871	4.569	8		
0.574	0.72	4.210	7		
0.454	0.629	3.711	6		
0.379	0.642	3.100	5		
0.374	0.7401	2.740	4		
0.452	0.902	2.261	3		
0.527	1.065	2.253	2		
0.585	1.217	2.175	1		
0.601	1.258	2.173	base		
570.5	757.9	2302.000		ton	القص القاعدي (X)
16.6	6.18	5.970	11	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور Y
16.53	6.11	5.360	10		
16.45	6.05	4.720	9		
16.36	5.98	4.030	8		
16.27	5.91	3.360	7		
16.18	5.84	2.690	6		
16.09	5.77	2.030	5		
16	5.7	1.400	4		
15.92	5.63	0.850	3		
15.84	5.57	0.390	2		
15.79	5.51	0.060	1		
15.75	5.49	0.000	base		

تابع للجدول (4-16)					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
Ball system	FPS				
0.8157	1.442	8.164	11	m/sec ²	
0.79	1.295	6.462	10		
0.764	1.14	4.758	9		
0.736	0.978	4.741	8		
0.708	0.809	4.636	7		
0.681	0.634	4.304	6		
0.658	0.631	3.874	5		
0.671	0.83	3.767	4		
0.692	1.003	2.995	3		
0.711	1.126	2.74	2		
0.727	1.193	2.614	1		
0.312	1.236	2.507	base		
641.3	750.1	2515.000		ton	القص القاعدي (Y)



الشكل (4-52) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج E وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

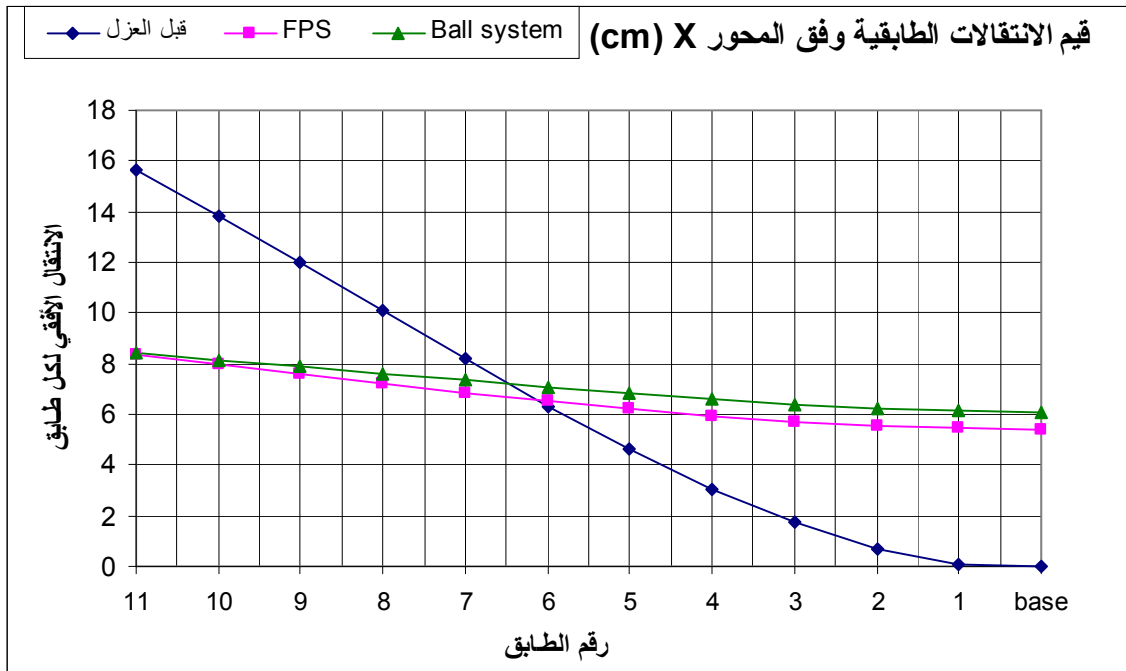


الشكل (4-53) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج E وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

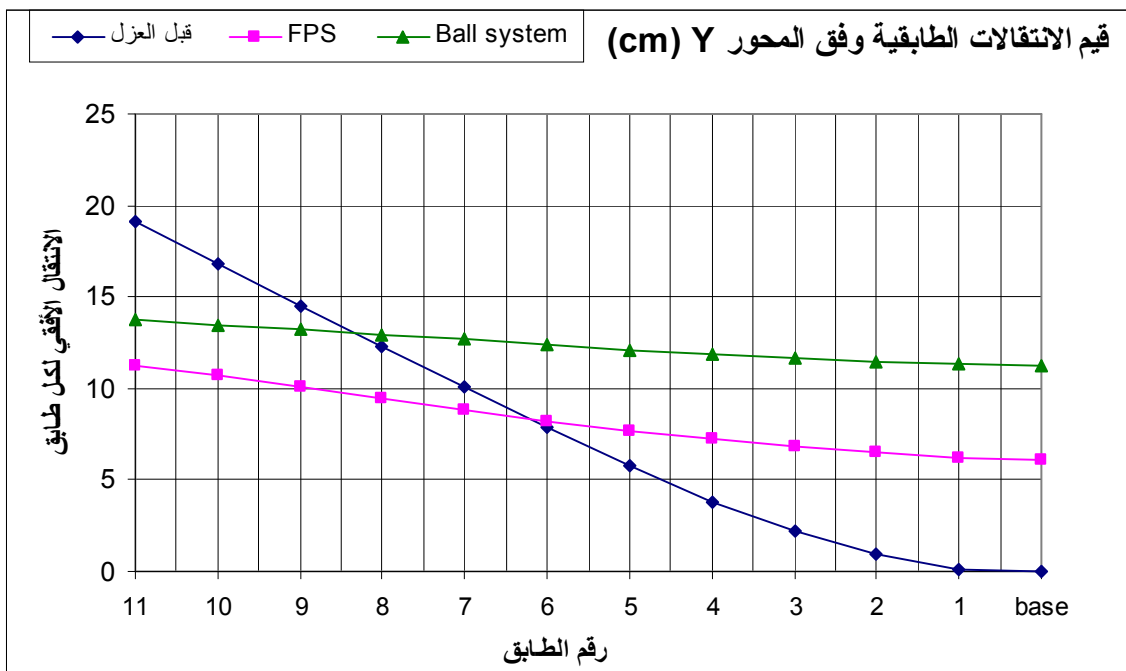
الجدول (4-17) مقادير الاستجابة للنموذج F بتأثير زلزال لوما بريتا

بعد العزل		رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS			
8.41	8.350	11	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائقي الأعظمي وفق المحور X
8.14	7.970	10		
7.88	7.580	9		
7.61	7.220	8		
7.34	6.850	7		
7.07	6.510	6		
6.82	6.210	5		
6.59	5.940	4		
6.39	5.730	3		
6.23	5.570	2		
6.13	5.470	1		
6.07	5.420	base		
0.713	1.443	11	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.639	1.234	10		
0.562	1.043	9		
0.484	0.869	8		
0.407	0.694	7		
0.331	0.529	6		
0.27	0.623	5		

تابع للجدول (4-17)					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
0.339	0.733	2.960	4	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.406	0.829	2.757	3		
0.463	0.914	2.355	2		
0.505	0.996	1.975	1		
0.521	1.020	1.874	base		
420.2	638.10	1725.000		ton	القص القاعدي (X)
13.74	11.27	19.130	11	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور Y
13.48	10.69	16.800	10		
13.22	10.09	14.500	9		
12.95	9.48	12.270	8		
12.67	8.85	10.050	7		
12.39	8.23	7.850	6		
12.12	7.69	5.740	5		
11.87	7.260	3.830	4		
11.64	6.860	2.190	3		
11.45	6.500	0.900	2		
11.3	6.190	0.140	1		
11.24	6.040	0.000	base		
1.093	2.368	10.590	11		
0.969	2.049	8.586	10		
0.843	1.719	6.934	9		
0.717	1.379	6.476	8		
0.601	1.091	6.023	7		
0.534	0.855	5.271	6		
0.57	0.916	4.440	5		
0.61	1.081	3.710	4		
0.646	1.241	3.113	3		
0.677	1.377	2.680	2		
0.7	1.478	2.413	1		
0.708	1.517	2.384	base		
442.4	796.00	2041.000		ton	القص القاعدي (Y)



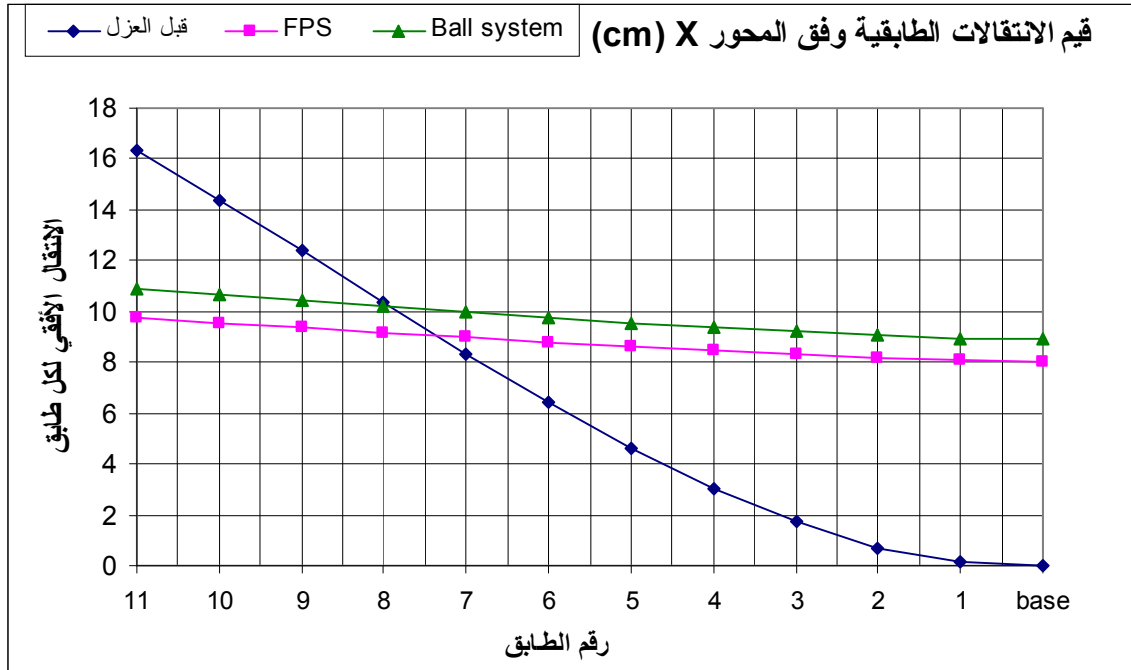
الشكل (4-54) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا.



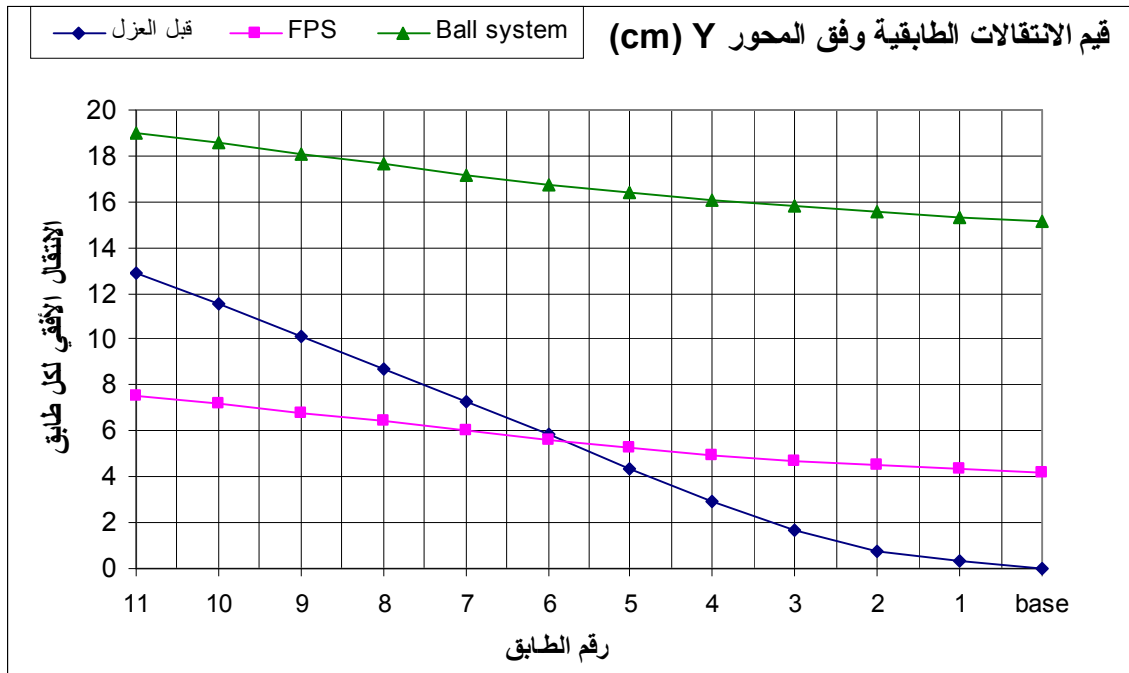
الشكل (4-55) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا.

الجدول (4-18) مقادير الاستجابة للنموذج F بتأثير زلزال لوس أنجلوس					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	
Ball system	FPS				
10.88	9.77	16.34	11	Cm	Maximum Floor Displacements(X) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور X
10.65	9.56	14.38	10		
10.41	9.37	12.37	9		
10.18	9.17	10.35	8		
9.97	8.97	8.35	7		
9.76	8.79	6.42	6		
9.56	8.62	4.63	5		
9.37	8.45	3.04	4		
9.2	8.31	1.72	3		
9.05	8.19	0.71	2		
8.95	8.10	0.12	1		
8.9	8.05	0	base		
1.044	1.904	9.714	11	m/sec ²	Maximum Floor Acceleration(X) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور X
0.916	1.641	7.985	10		
0.794	1.371	6.192	9		
0.683	1.099	5.115	8		
0.572	0.826	5.013	7		
0.494	0.766	4.937	6		
0.469	0.914	4.55	5		
0.509	1.051	3.79	4		
0.556	1.171	3.027	3		
0.599	1.270	2.458	2		
0.644	1.340	2.197	1		
0.668	1.370	2.173	base		
444.4	836.10	1906		ton	القص القاعدي (X)
19	7.56	12.910	11	Cm	Maximum Floor Displacements(Y) الانتقال الطائفي الأعظمي وفق المحور Y
18.56	7.19	11.510	10		
18.11	6.81	10.130	9		
17.64	6.42	8.710	8		
17.16	6.02	7.290	7		
16.76	5.63	5.820	6		
16.43	5.24	4.350	5		
16.1	4.960	2.950	4		
15.8	4.710	1.710	3		
15.53	4.490	0.720	2		
15.28	4.320	0.350	1		
15.16	4.210	0.000	base		

تابع للجدول (4-18)					
بعد العزل		قبل العزل	رقم الطابق	الوحدة	Maximum Floor Acceleration(Y) التسارع المطلق الأعظمي لكل طابق وفق المحور Y
Ball system	FPS				
1.381	1.702	10.340	11	m/sec ²	
1.244	1.469	7.173	10		
1.107	1.228	4.256	9		
0.968	0.979	5.578	8		
0.839	0.757	6.707	7		
0.791	0.653	6.590	6		
0.768	0.675	6.271	5		
0.76	0.885	5.651	4		
0.763	1.109	4.276	3		
0.81	1.364	2.790	2		
0.847	1.562	2.443	1		
0.67	1.612	2.507	base	ton	
540	614.70	1486			القص القاعدي (Y)



الشكل (4-56) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.



الشكل (4-57) قيم الانتقالات الطابقية للنموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس.

بملاحظة الجداول والأشكال السابقة التي تبين قيم الاستجابة في النماذج المدروسة يمكن أن نستنتج مايلي:

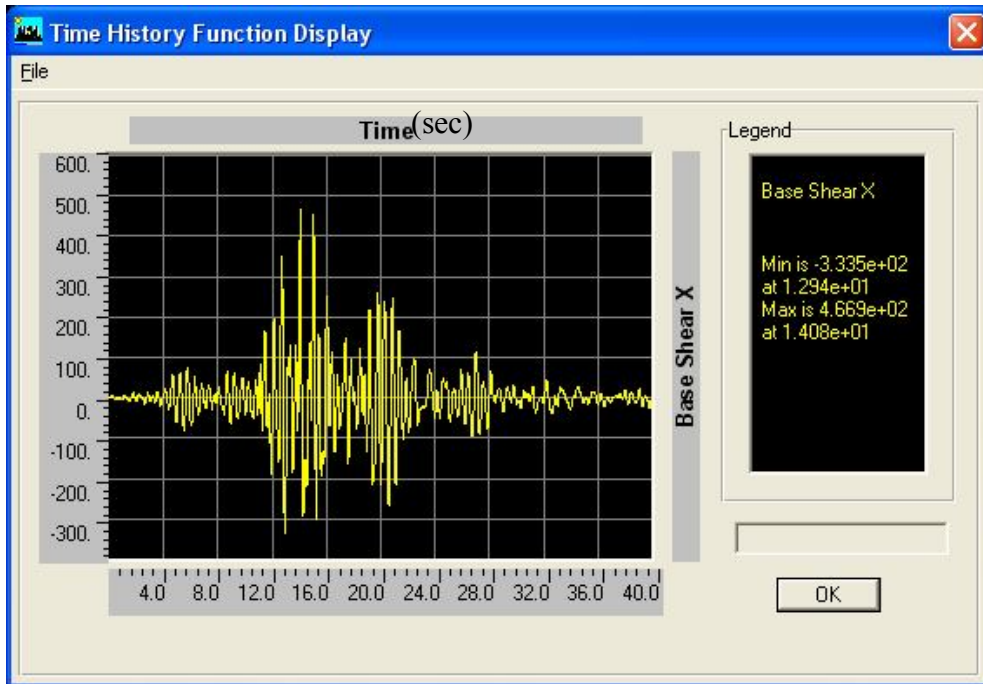
1- إن زيادة المرونة الأفقية عند مستوي العزل تساهم في تخفيض كبير لقيم التسارعات الطابقية المطلقة العظمى في المبنى المعزول أي انخفاض لقيم قوى العطالة. وبالتالي يمكن القول بأن محتويات المبنى والأجهزة التي قد يحتويها ستكون بمنأى عن الضرر الناتج عن الزلزال.

2- فعالية كلا العازلين في تخفيض قوى القص بالاتجاهين x,y تحت تأثير الزلازلين المدروسين وبالتالي الحصول على أمان أكبر في المبنى المعزول. وسوف نبيّن لاحقاً نسب انخفاض قيم قوى القص القاعدي قبل العزل وبعده بالنسبة لكلا العازلين قيد الدراسة.

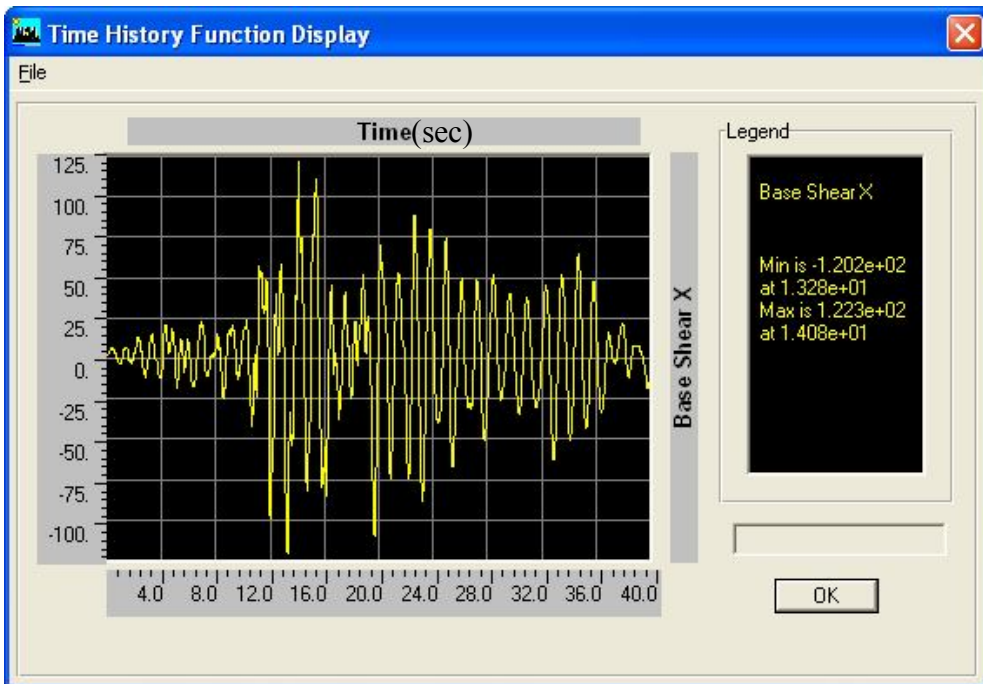
3- إن استخدام العزل الزلزالي كأحد أشكال الحماية الزلزالية ساهم في تخفيض الانتقالات النسبية، إذ تظهر الأشكال (4-34~4-57) قيم الانتقالات الطابقية ومقدار التخفيض في الانتقالات النسبية في حالة المبنى المعزول والذي يعتبر مقياساً لمدى فعالية العازل في تخفيض الأضرار التي قد تصيب العناصر الإنشائية وغير الإنشائية.

لإظهار فعالية العزل بشكل أوضح، سوف نبيّن من خلال الأشكال التالية القص القاعدي (ton) للنموذجين F,C قبل العزل وبعده باستخدام هذين النوعين من العوازل وكذلك التسارع المطلق لأعلى طابق، بالإضافة للسجل الزمني للطاقة.

1- القص القاعدي: Base Shear

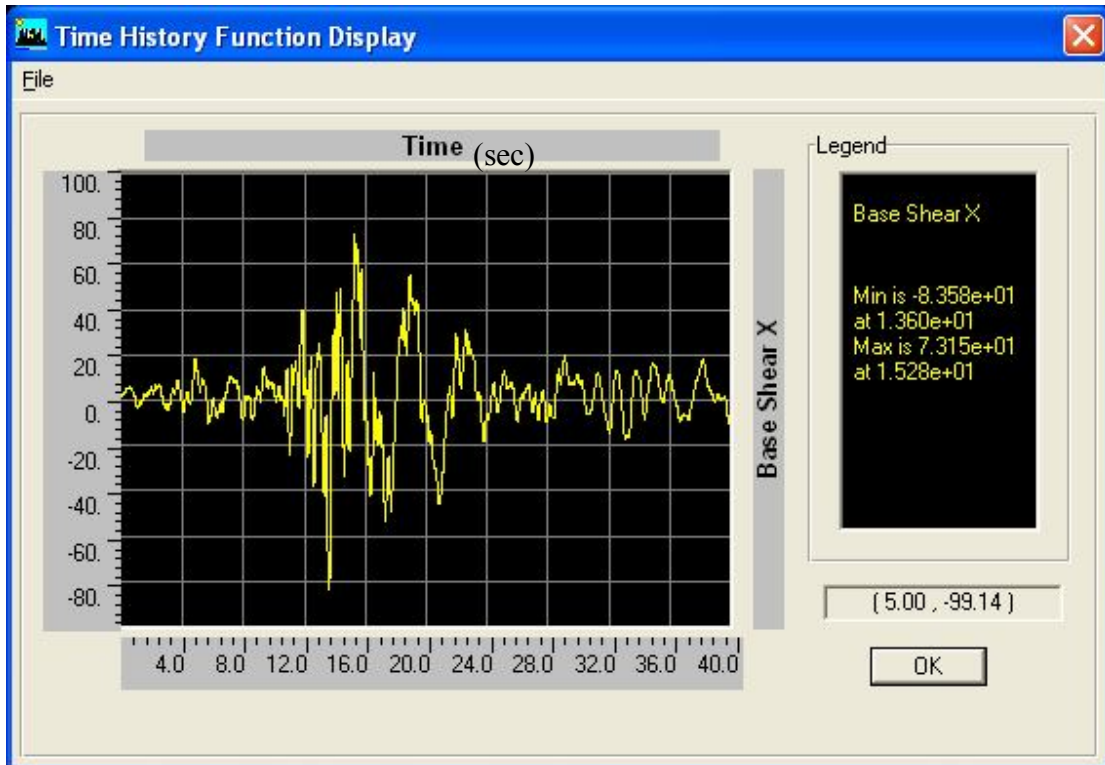


الشكل (4-58) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل

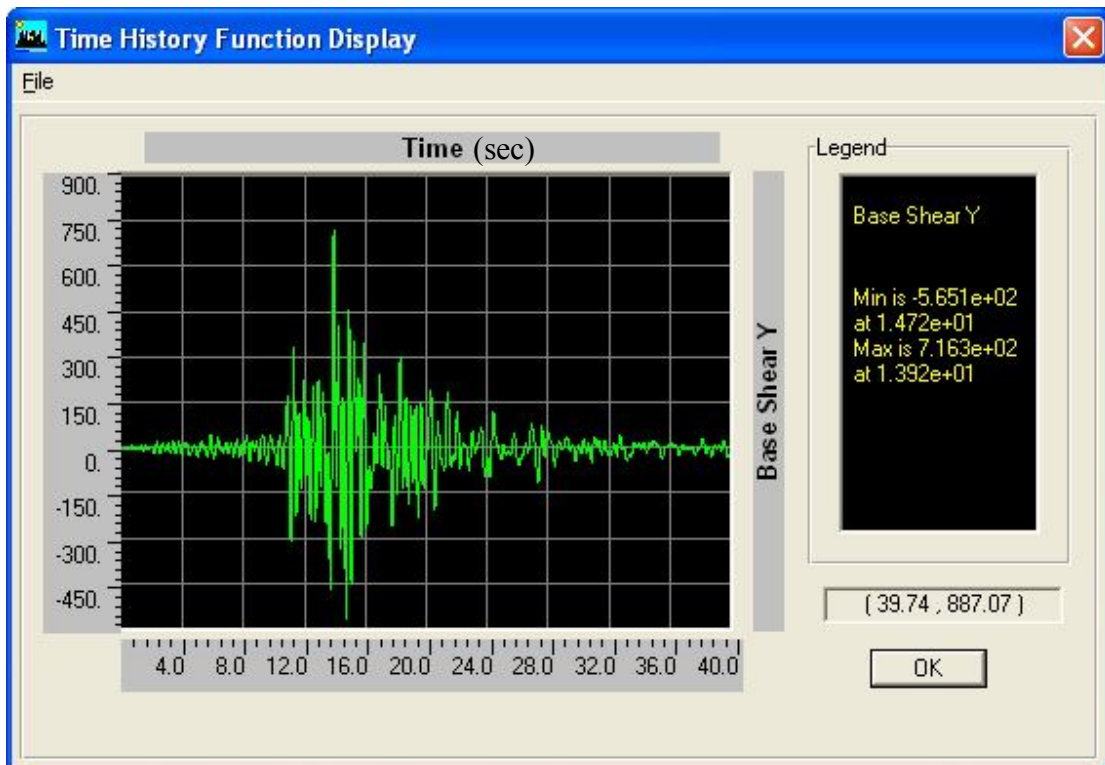


الشكل (4-59) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله

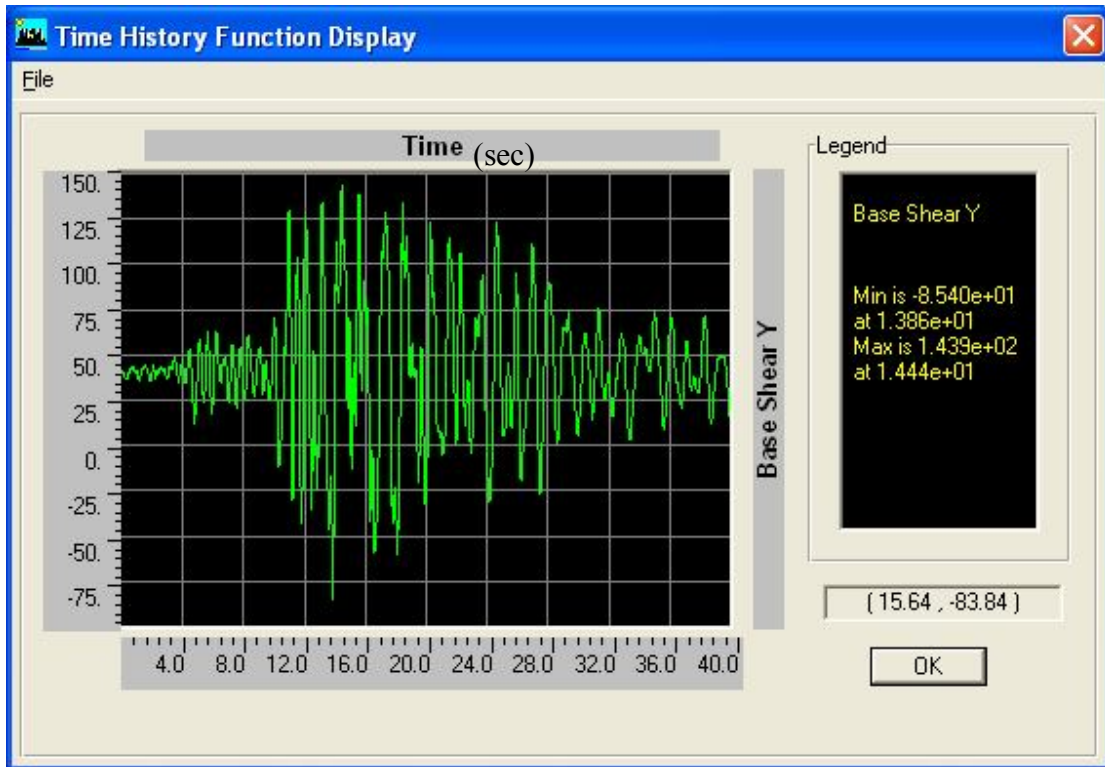
بواسطة FPS



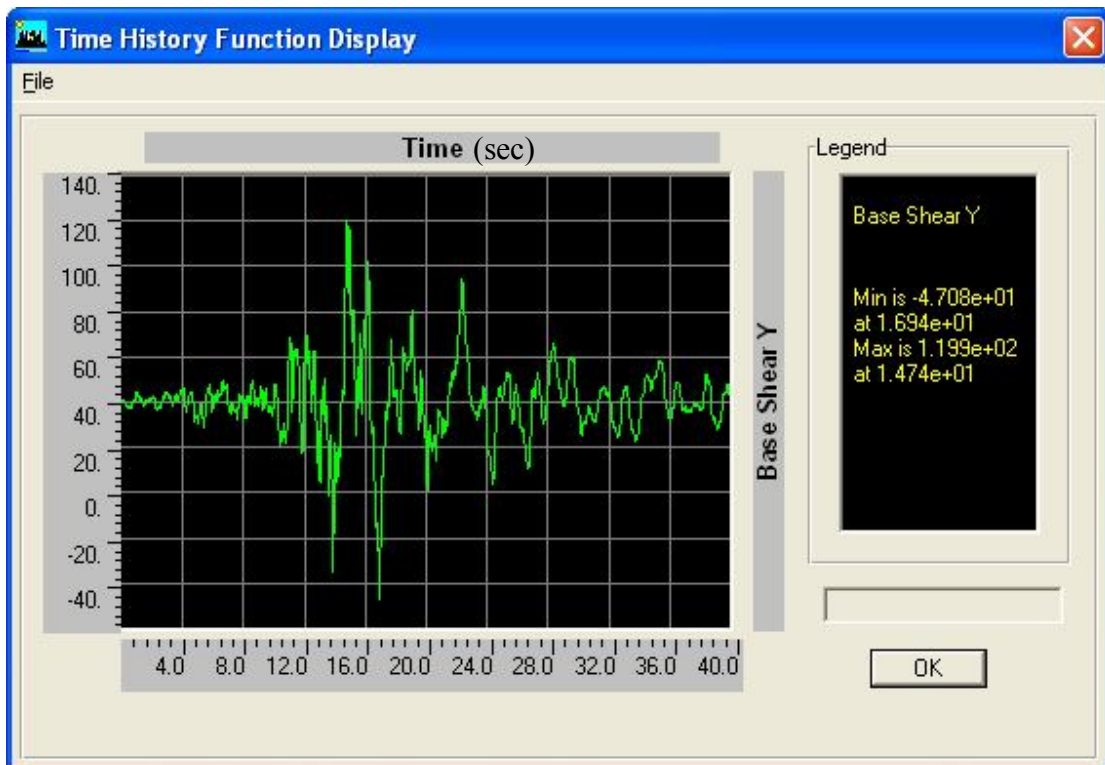
الشكل(4-60) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما برينا بعد عزله بواسطة Ball System



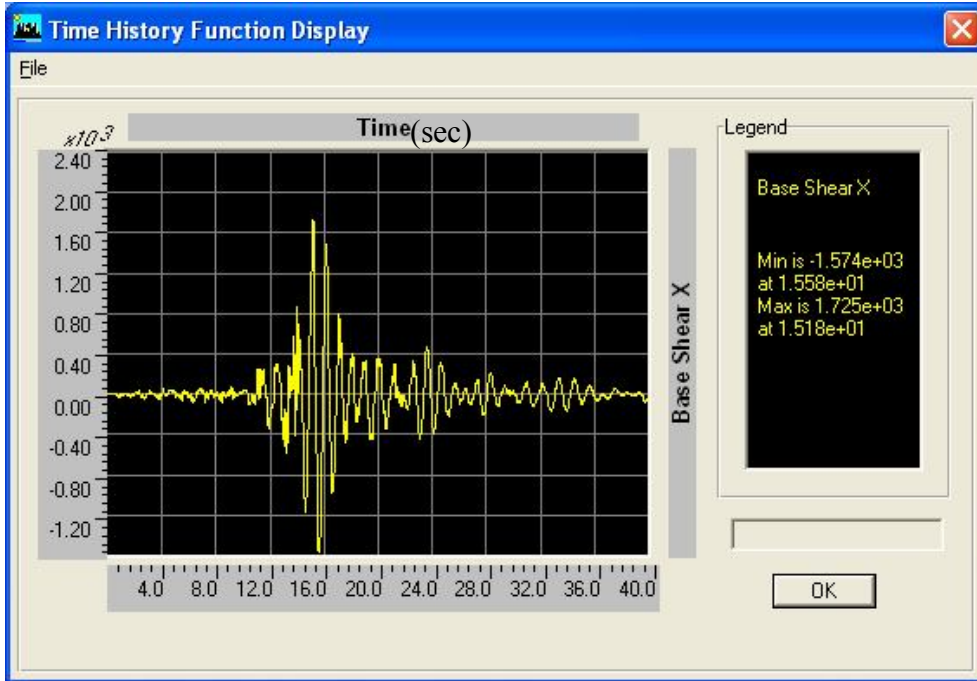
الشكل(4-61) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما برينا قبل العزل



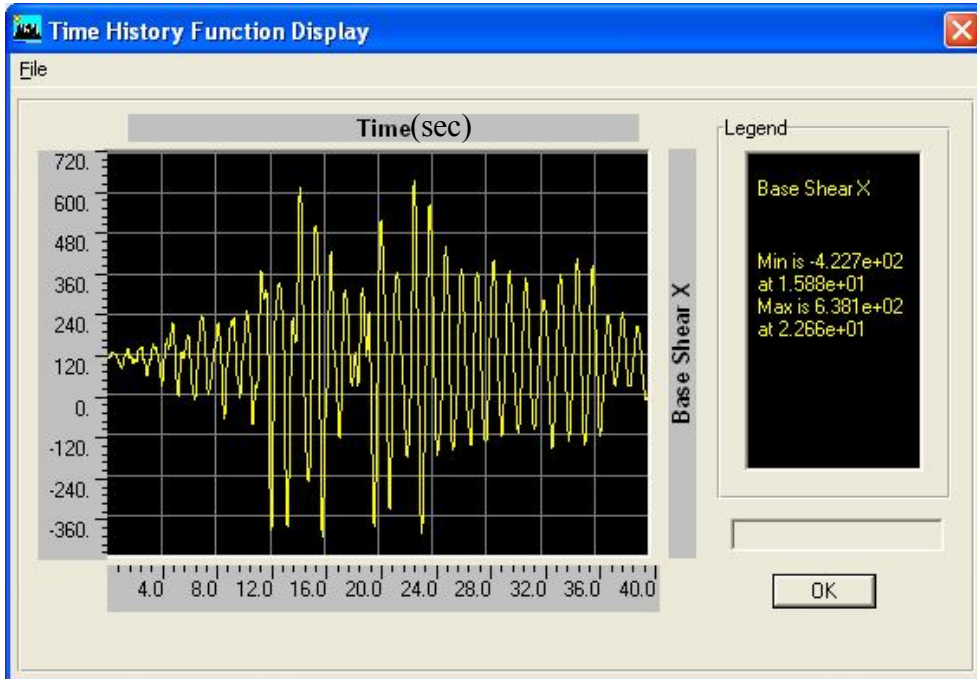
الشكل(4-62) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



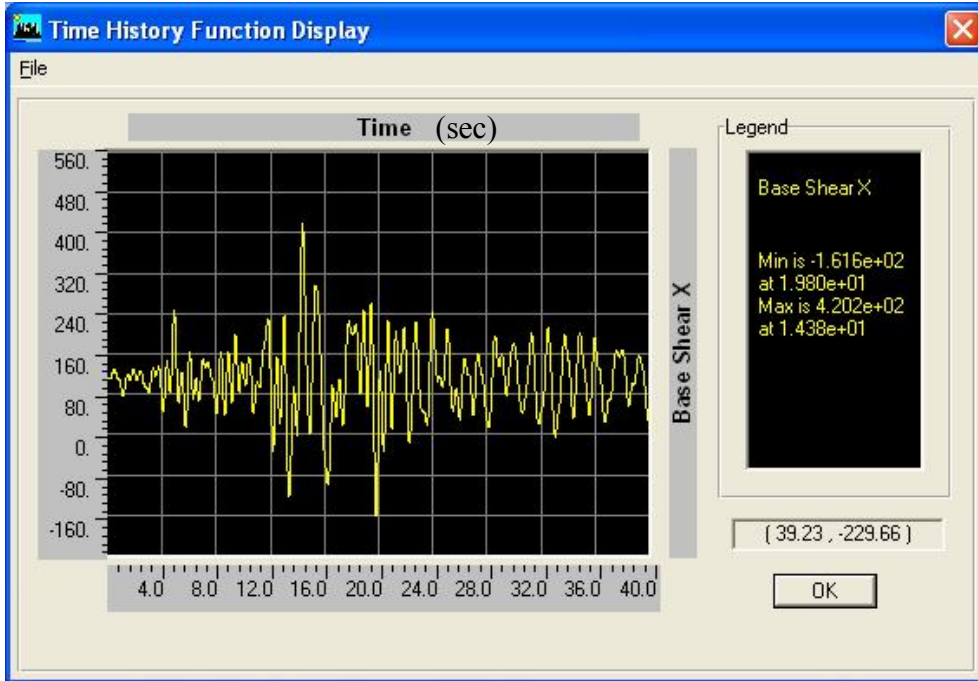
الشكل(4-63) مخطط القص القاعدي للنموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



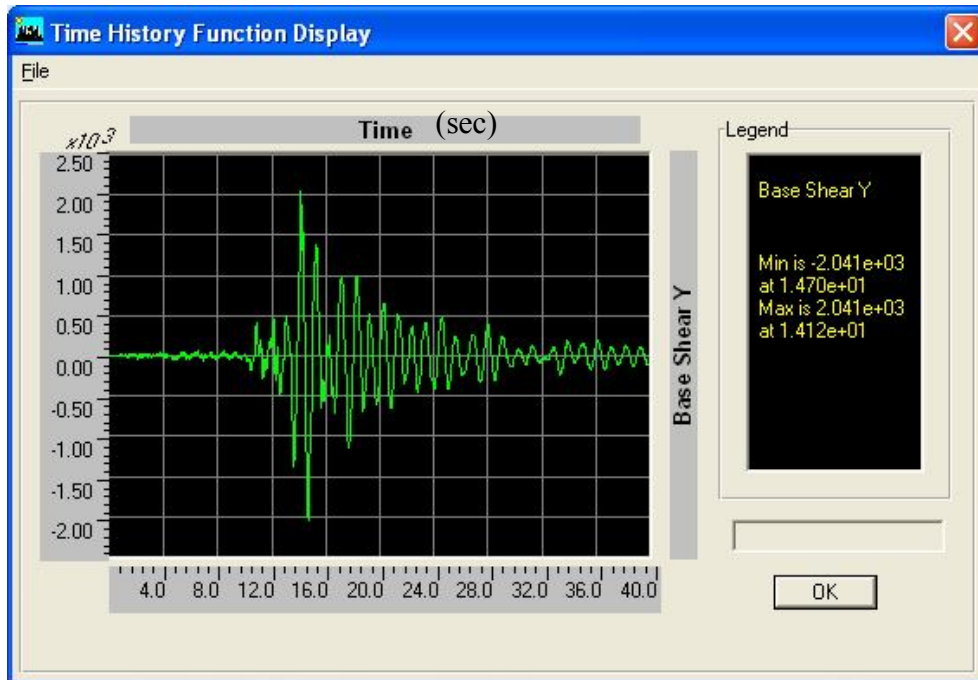
الشكل (4-64) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل



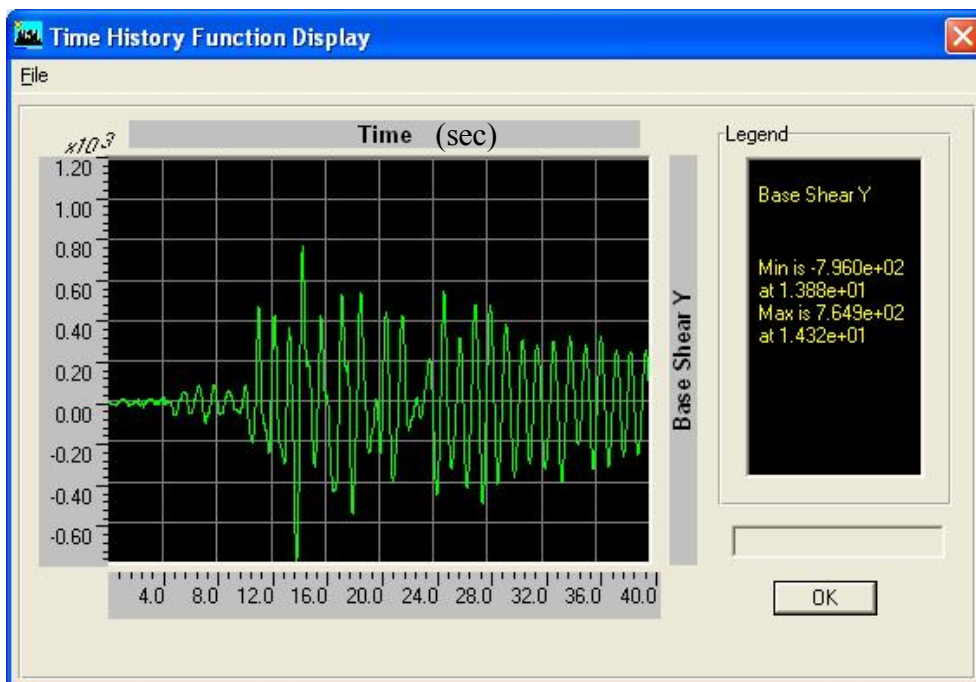
الشكل (4-65) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



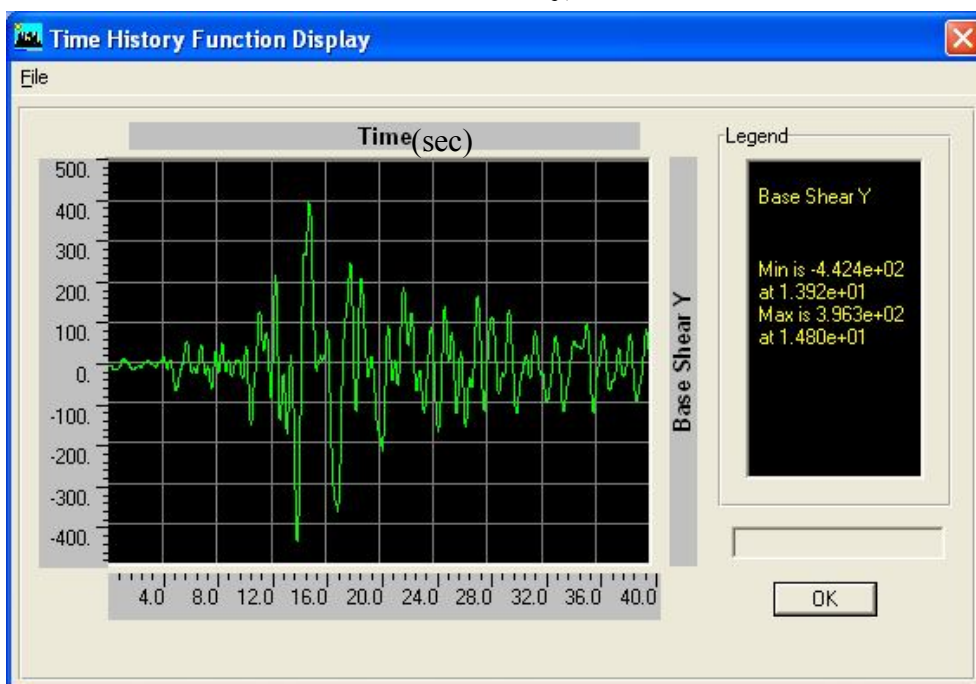
الشكل(4-66) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



الشكل(4-67) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل



الشكل(4-68) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS

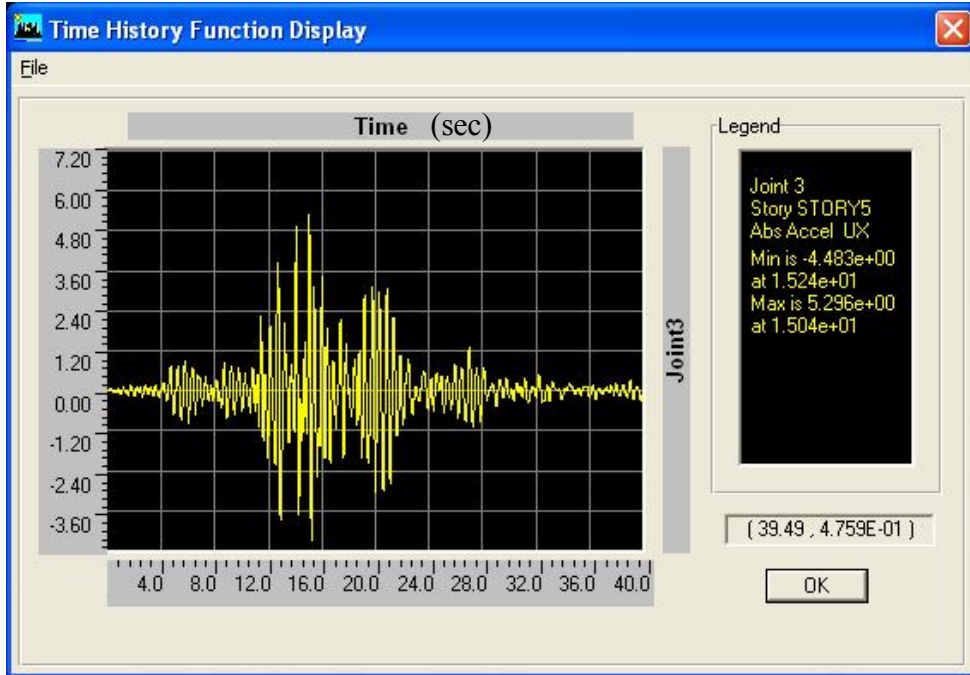


الشكل(4-69) مخطط القص القاعدي للنموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System

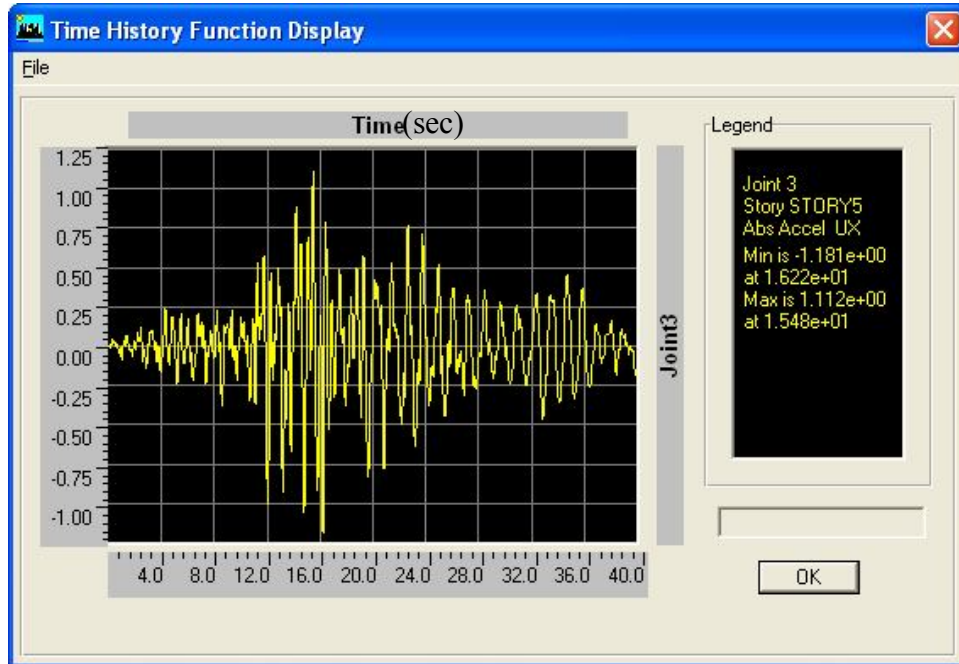
نلاحظ من الأشكال (4-58~4-69) أنّ تواتر اجهادات القص القاعدي في المبنى غير المعزول سريع وخلال فترات زمنية قصيرة وبسعات كبيرة، أما في حالة المبنى المعزول

فيصبح تواتر اجهادات القص أبطأ وخلال فترات زمنية أطول نسبياً وبساعات أقل مما يساهم في تخفيض خطر الانهيار نتيجة اجهادات التعب.

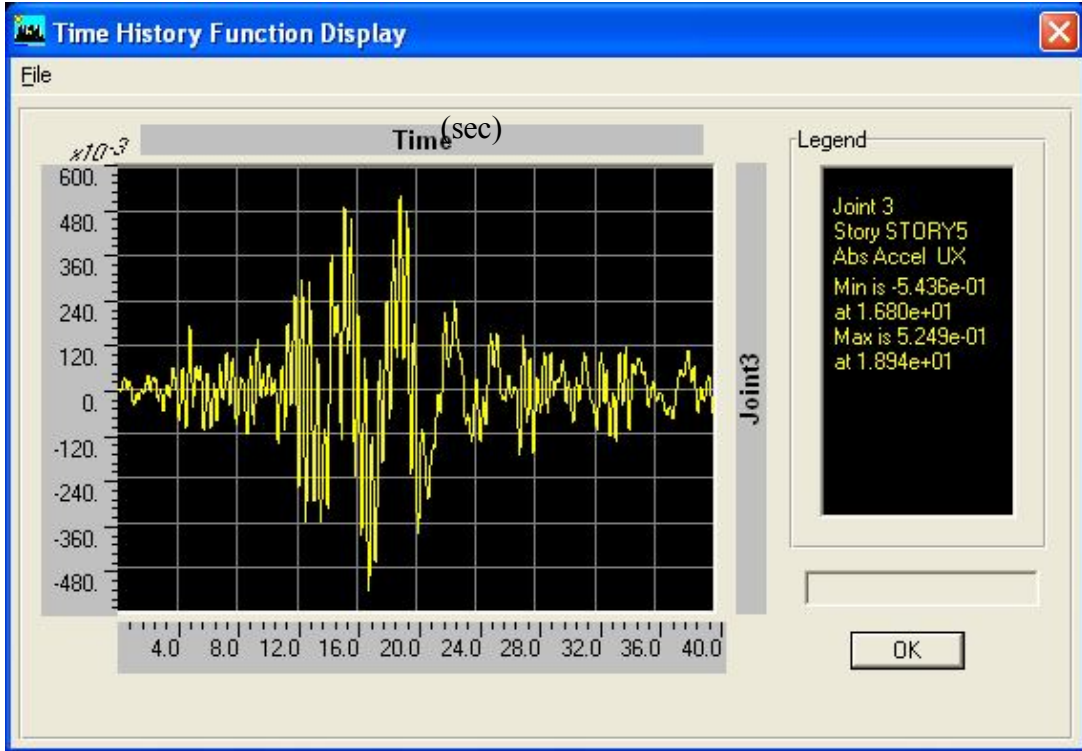
2- التسارع المطلق لأعلى طابق: The top floor absolute acceleration



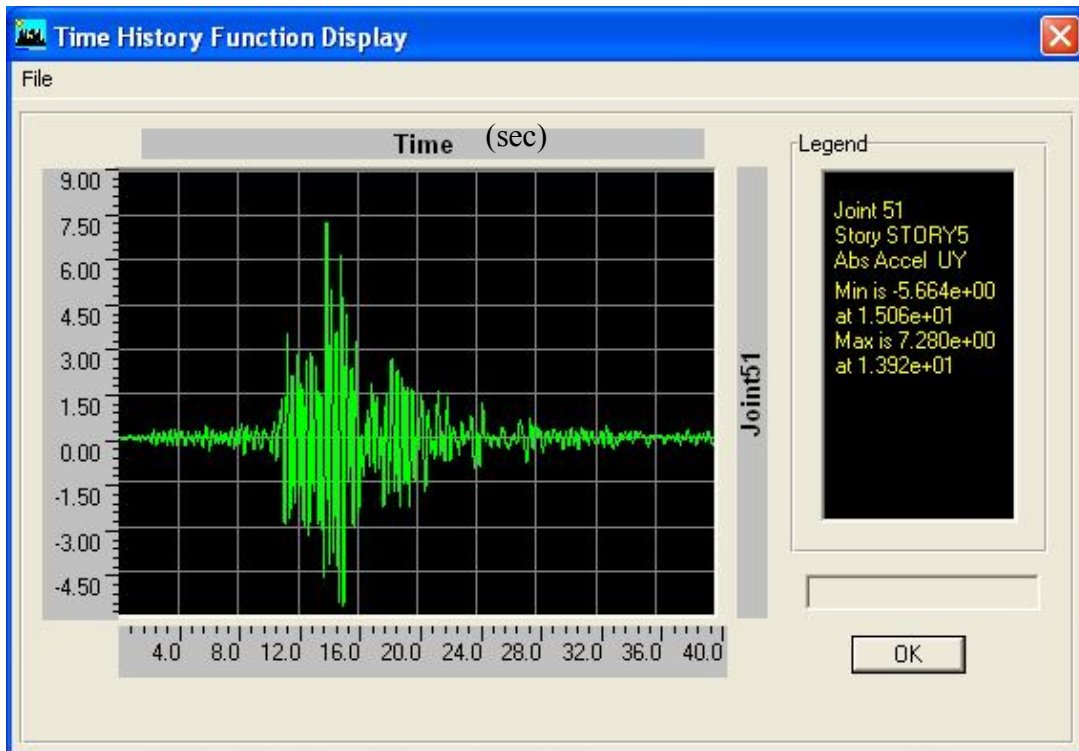
الشكل (4-70) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا



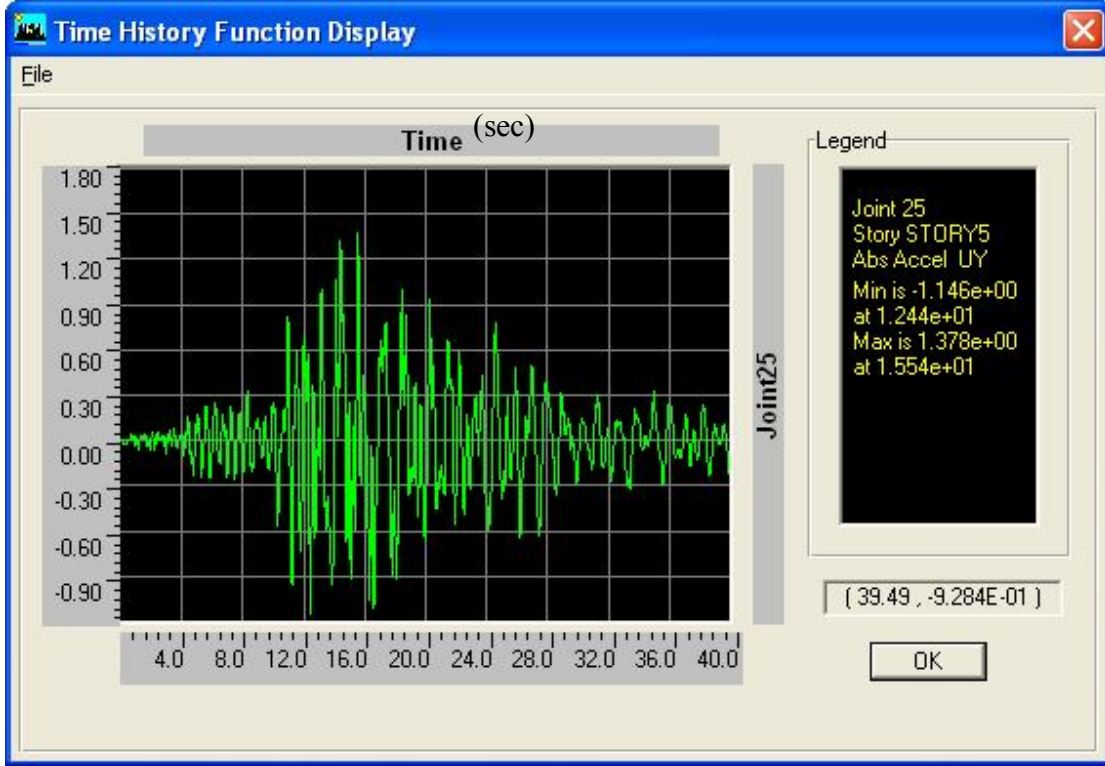
الشكل (4-71) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



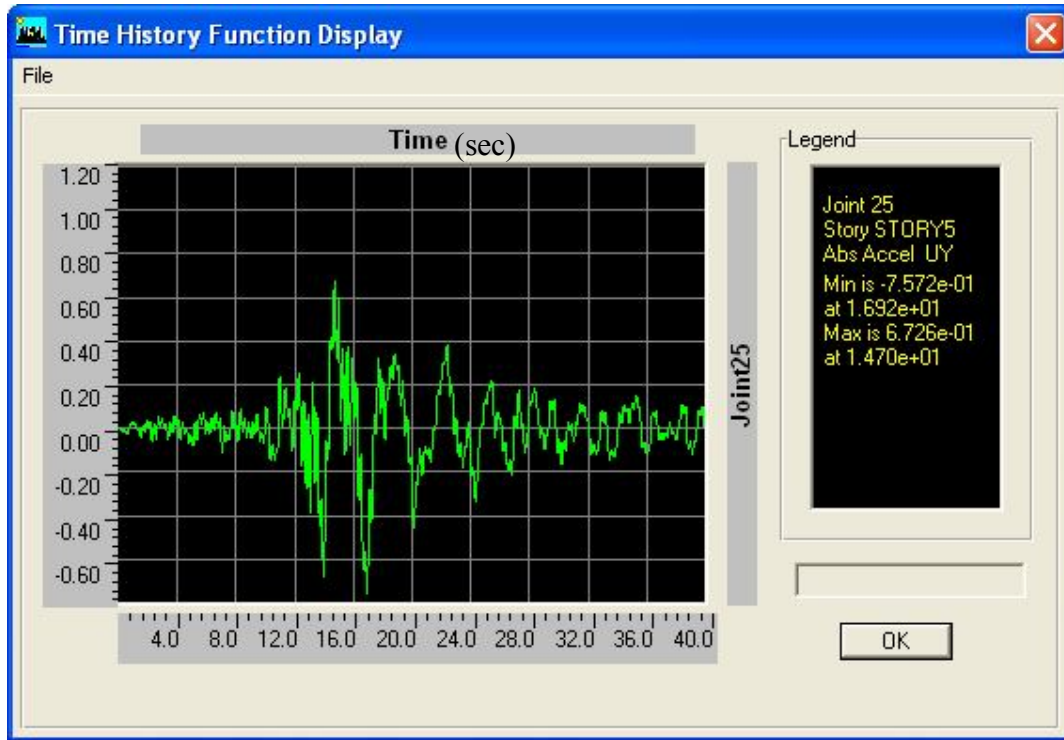
الشكل (4-72) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



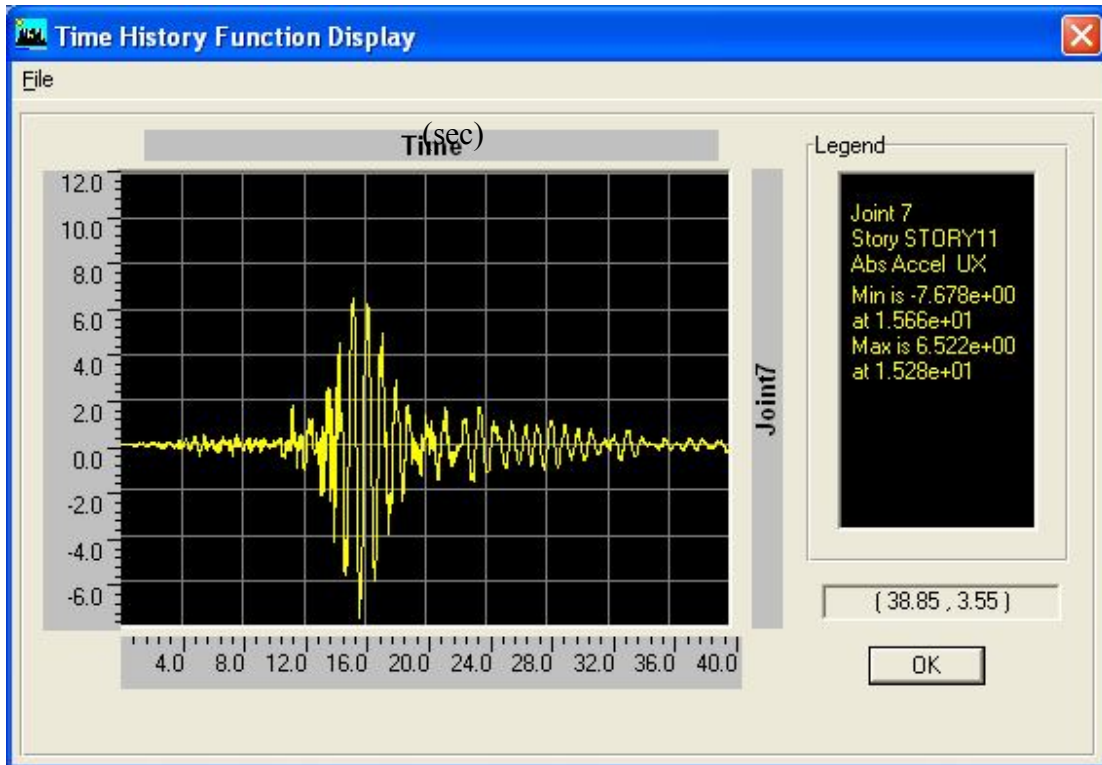
الشكل (4-73) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا



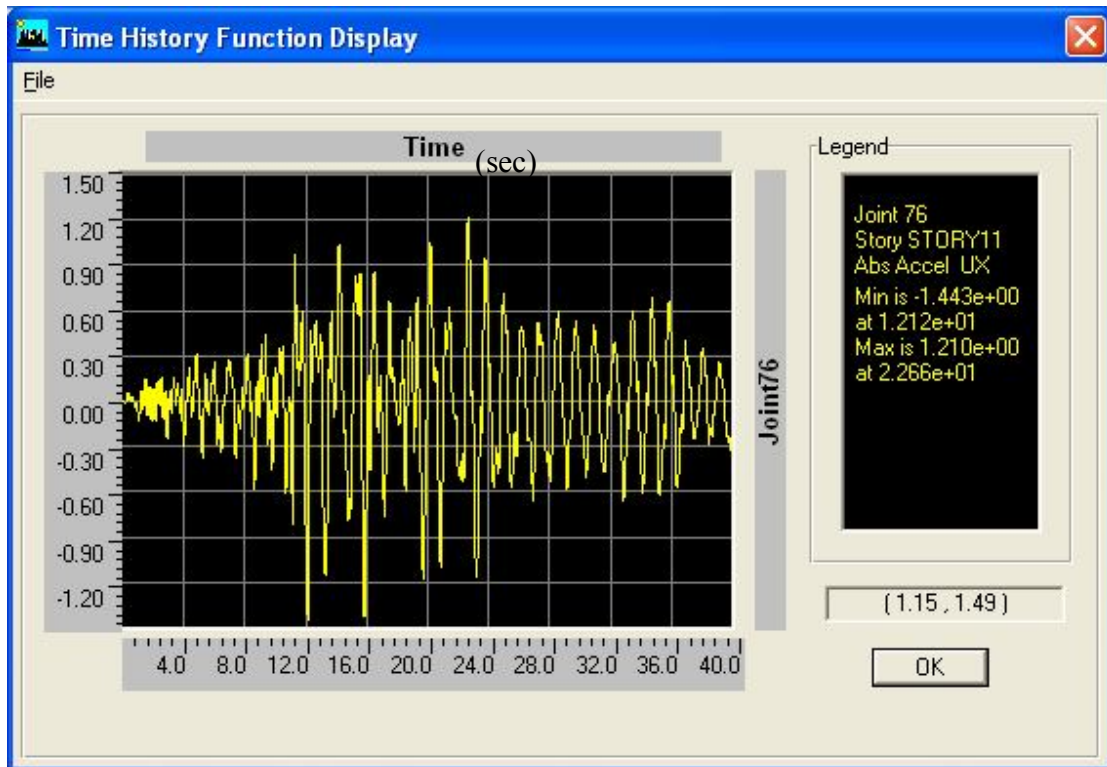
الشكل (4-74) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



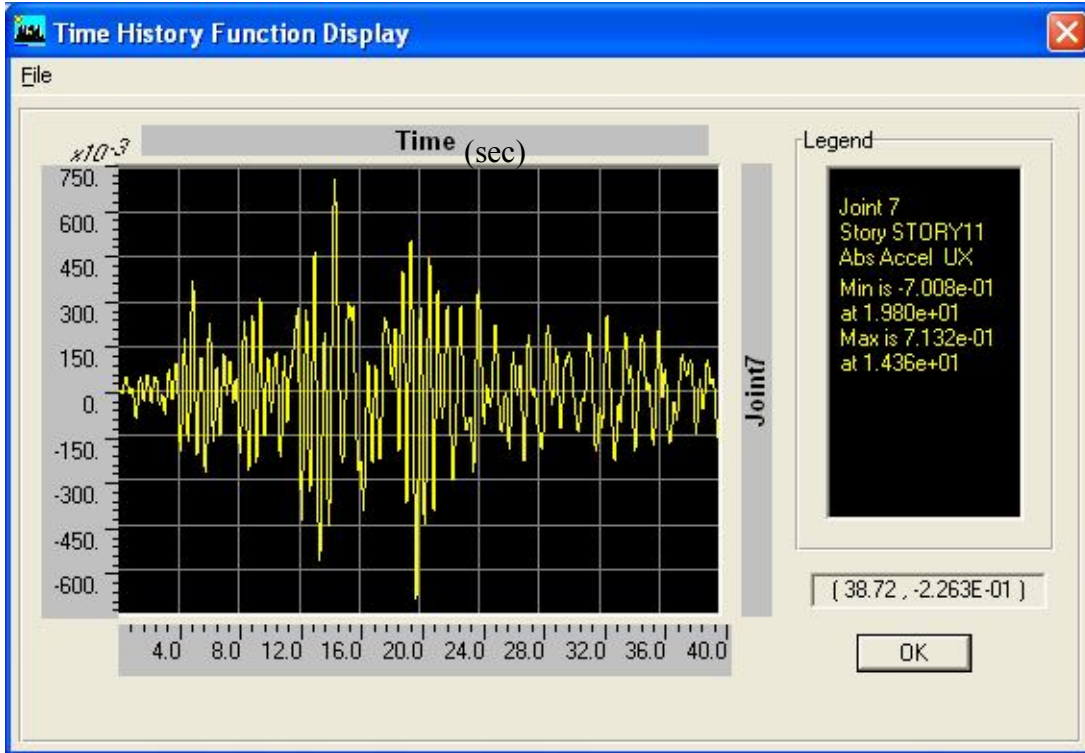
الشكل (4-75) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



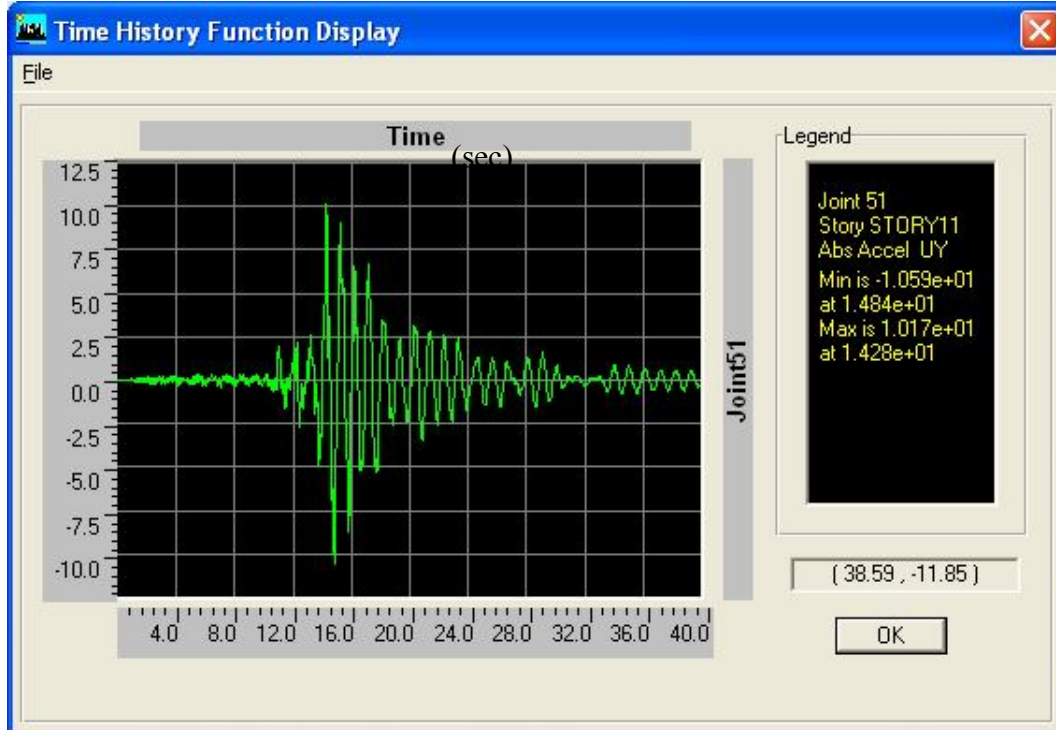
الشكل (4-76) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا



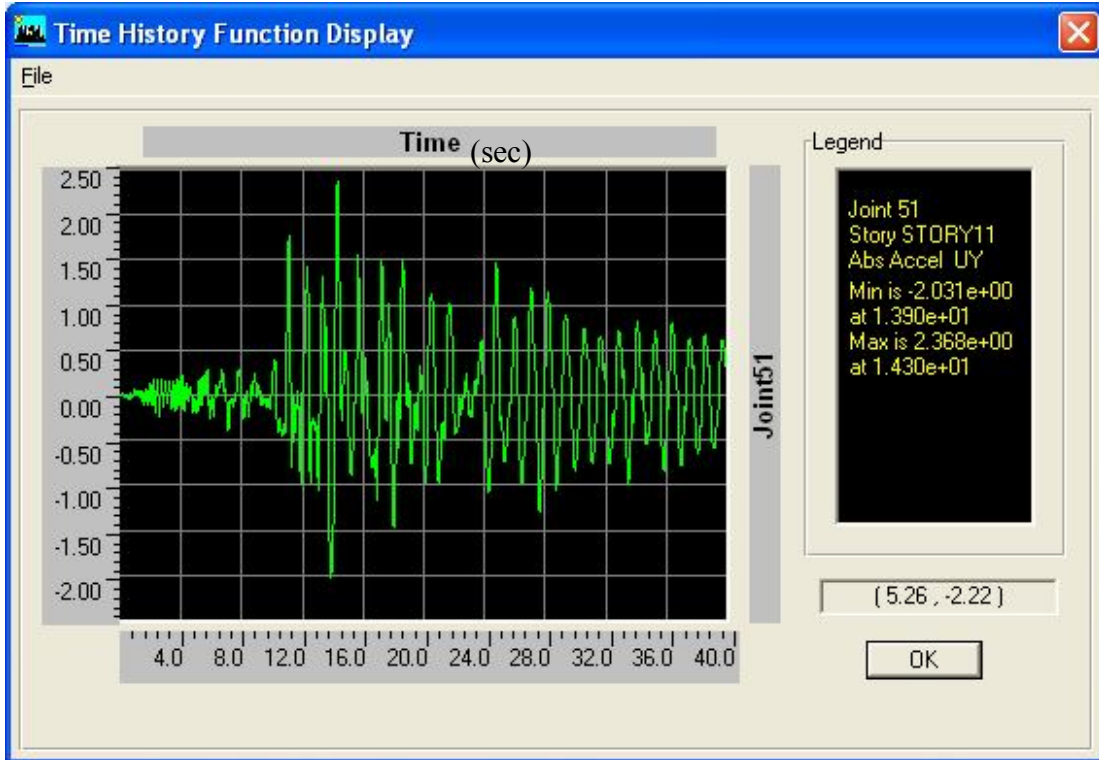
الشكل (4-77) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



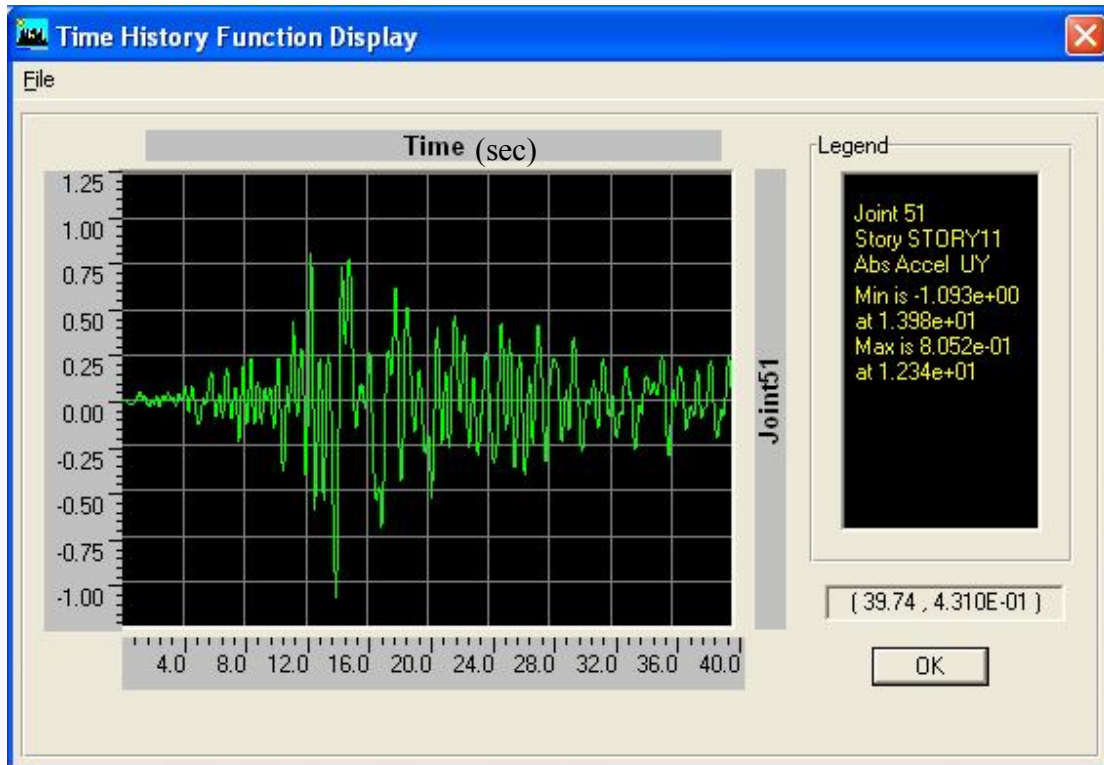
الشكل (4-78) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



الشكل (4-79) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

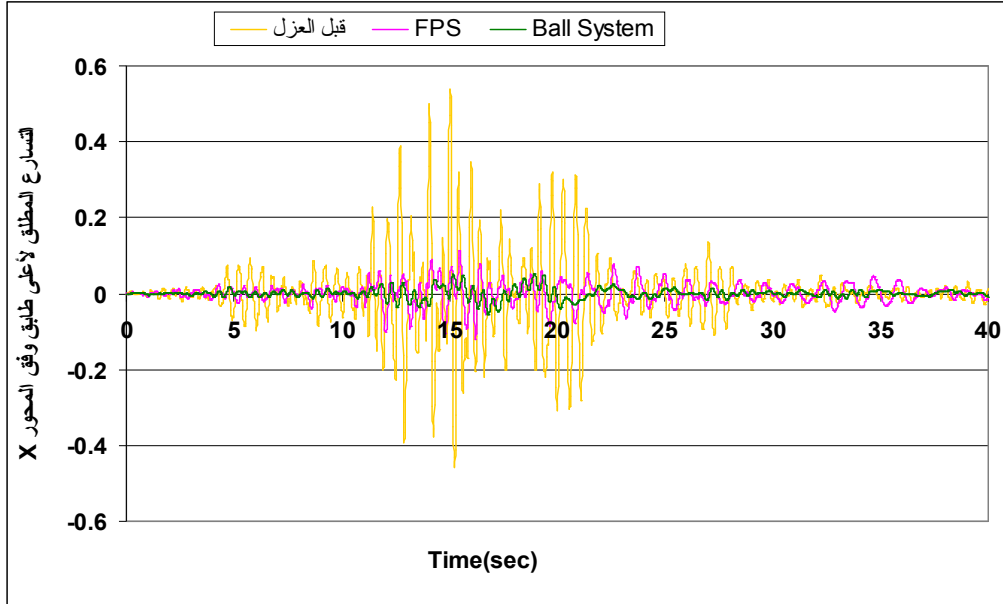


الشكل (4-80) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS

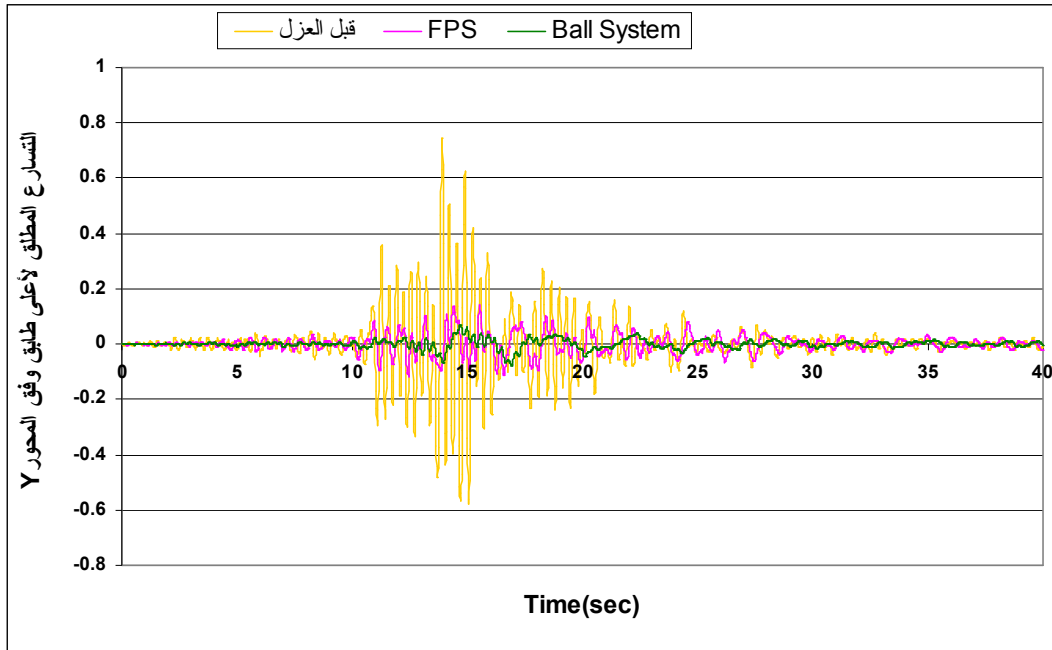


الشكل (4-81) السجل الزمني للتسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System

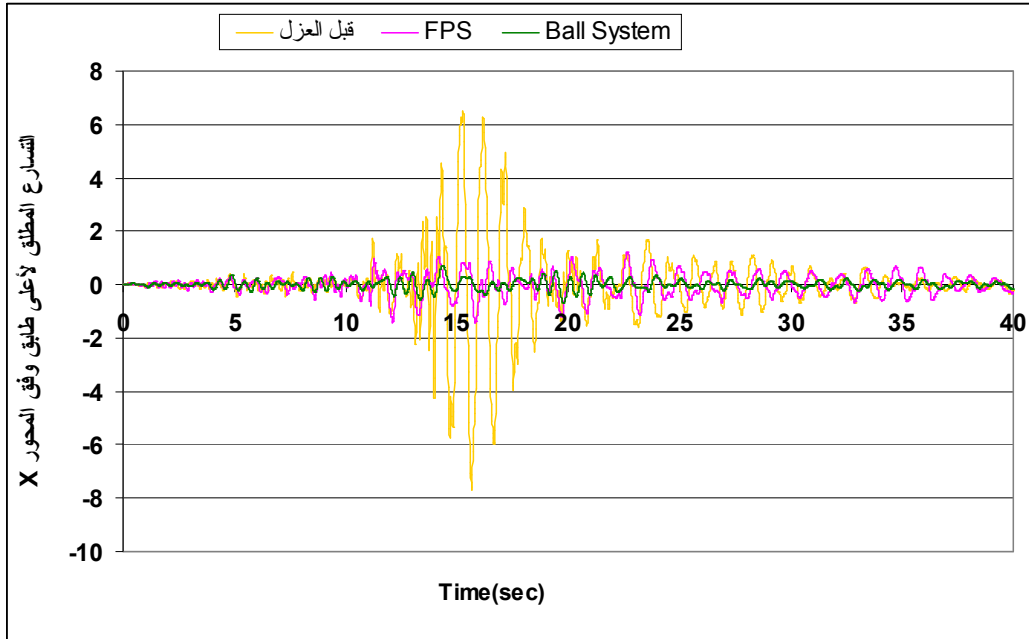
- يمكن تمثيل السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج C , F تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل وبعده في رسم بياني واحد من أجل تبيان مقدار التخفيض الحاصل لقيمة التسارع المطلق نتيجة استخدام هذين النوعين من العوازل كما هو موضح في الشكلين (4-82,4-83).



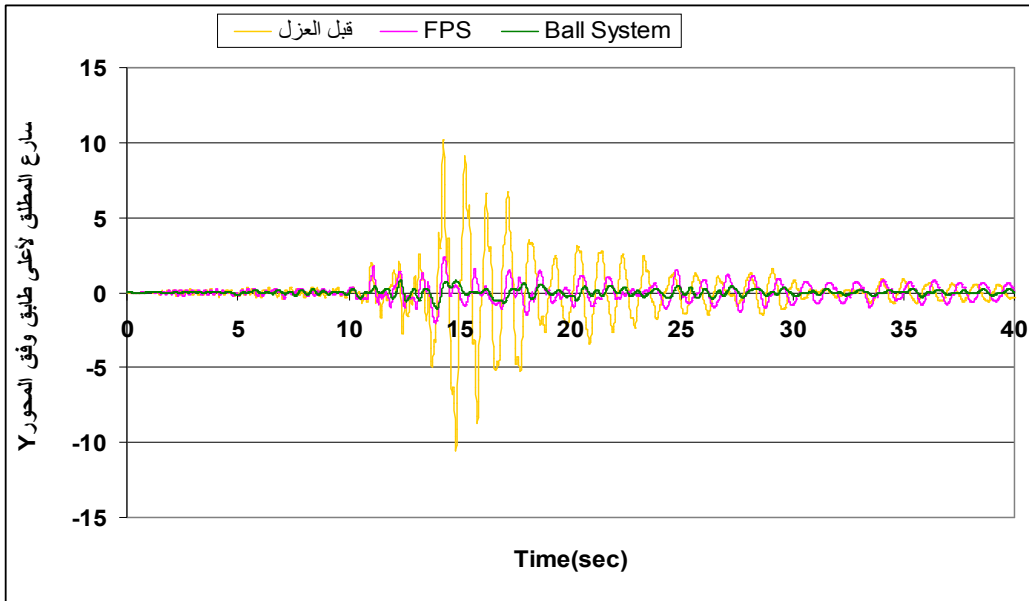
الشكل (4-82) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل وبعد العزل.



الشكل (4-83) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل وبعد العزل.



الشكل (4-84) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما برينا قبل وبعد العزل.

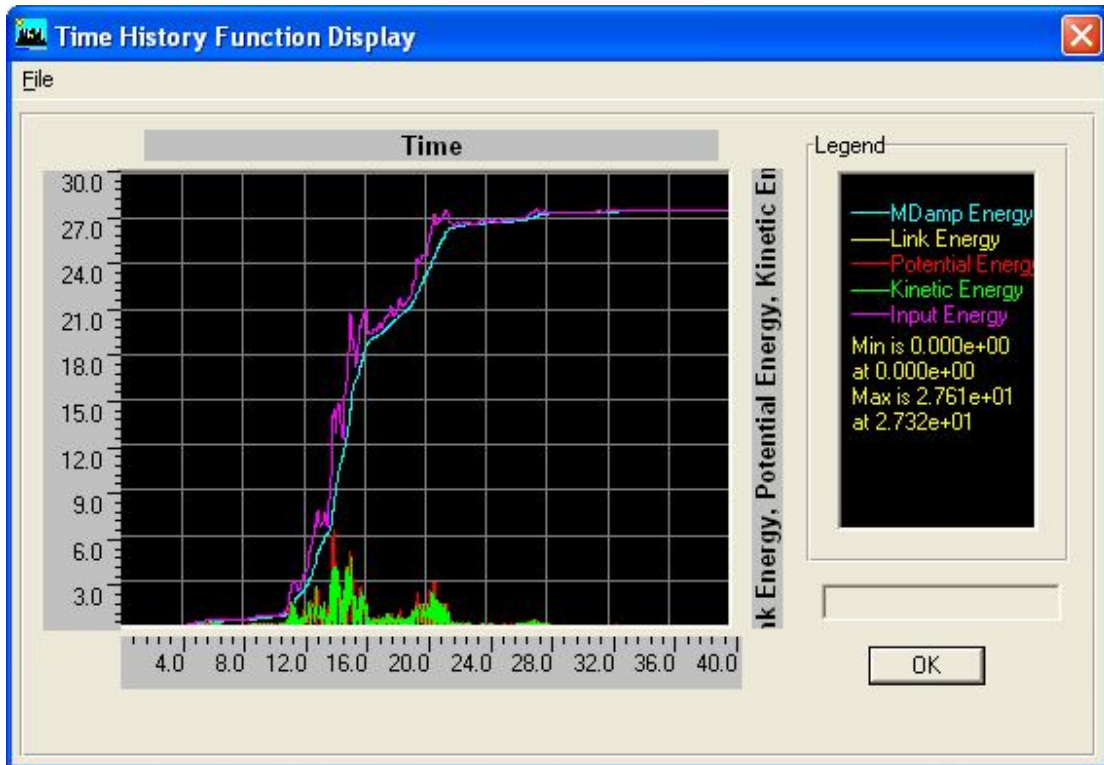


الشكل (4-85) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما برينا قبل وبعد العزل.

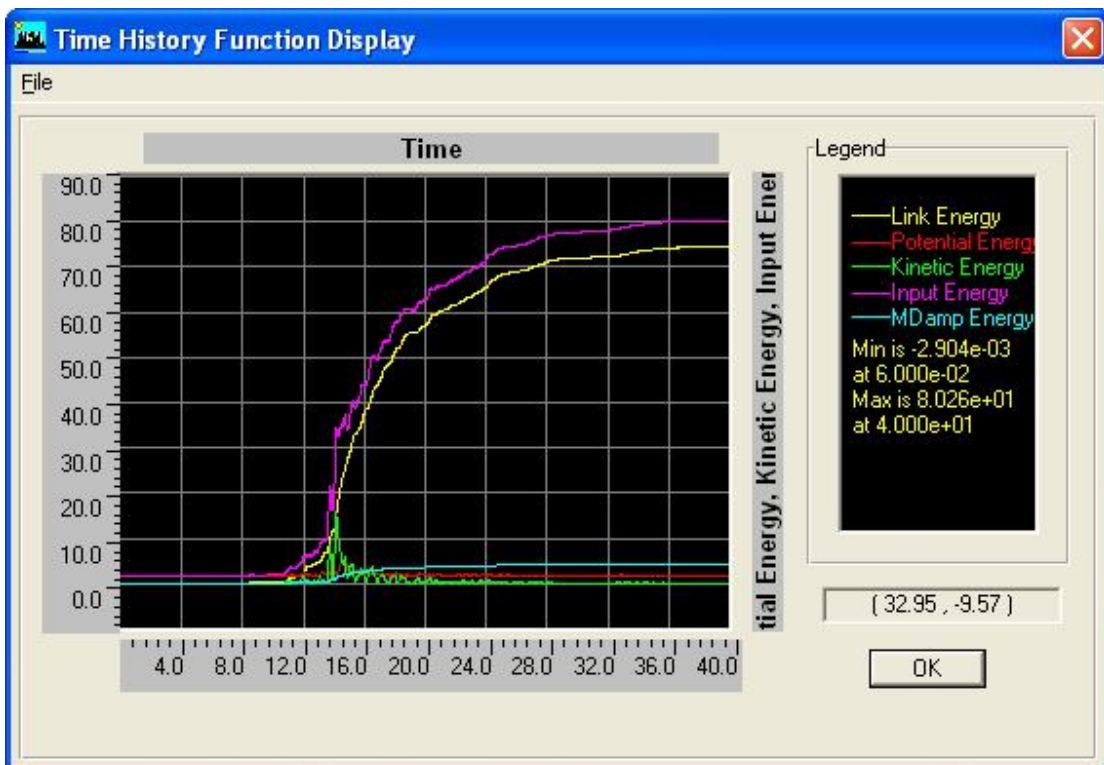
إن انخفاض قيمة التسارع المطلق سيؤدي إلى انخفاض المقدار $miu(t)$ ، الذي يمثل القوى الزلزالية المتولدة في المنشأ العلوي، وبالتالي أداء وسلوك أفضل للمبنى تجاه الخطر الزلزالي.

3- الطاقة: Energy

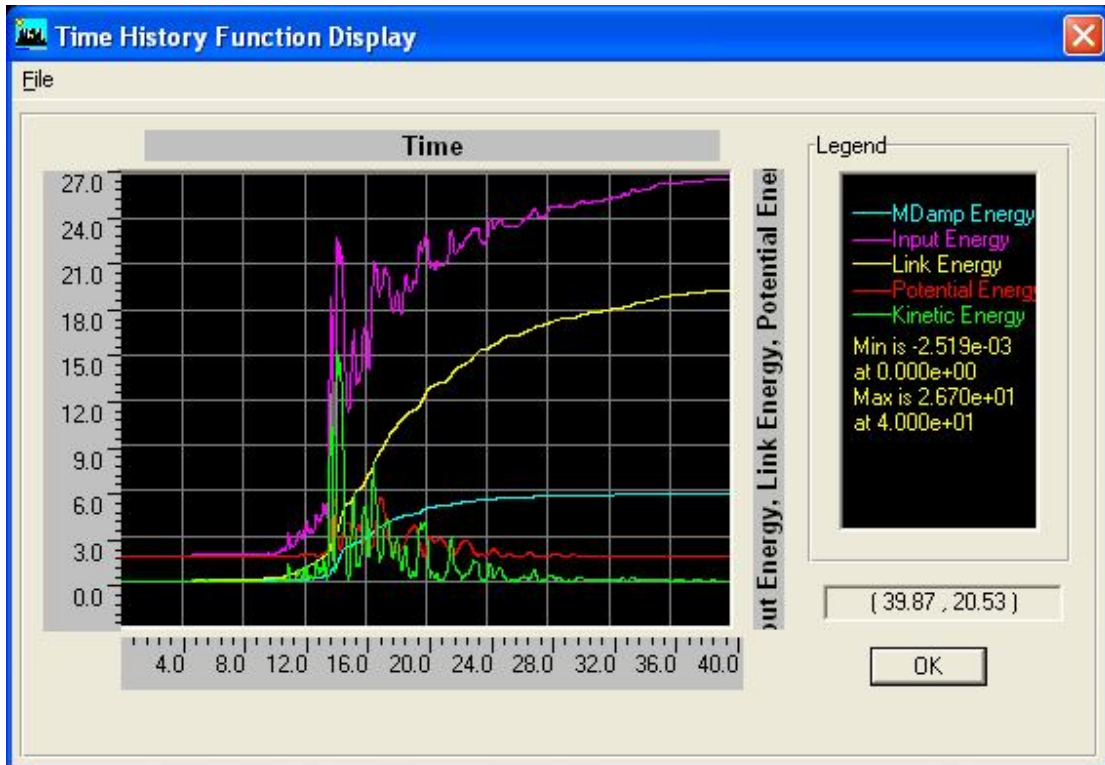
إنّ الغالبية العظمى من العوازل تعمل على تغيير مسار الطاقة الزلزالية (أي تخفيض الطاقة المتسربة إلى المنشأ)، وتبديدها من خلال آلية مناسبة، ويعمل العزل الزلزالي القاعدي على تخفيف التشوهات الإنشائية (structural deformations) من خلال السماح بانتقالات كبيرة نسبياً عند مستوى العزل، ويمكن أن تصمم أنظمة العزل أحياناً من أجل قيم مثلى لبعض قيم الاستجابة (كالتسارع والانتقال)، ولكن من الصعب جداً أن نحدد قيم الاستجابة من أجل أداء أمثل للعازل. تعتبر قيم الطاقة مؤشراً جيداً لمعرفة مدى فعالية العازل على اعتبار أن تقييم الطاقة يتم باستخدام كل قيم الاستجابة، فعندما تنتقل الطاقة الناتجة عن الزلزال إلى المبنى المعزول، تكون استجابة المنشأ إما بالانزلاق أو عدمه. فعندما لا يحدث انزلاق في العازل يمتص المنشأ المعزول كامل الطاقة كما لو كان على قاعدة ثابتة، والتي بدورها تتحول إلى طاقة حركية، طاقة كامنة و طاقة مبددة في المنشأ كما يبين الشكلان (4-89)، (4-86). بينما عندما يحدث انزلاق في العازل عندها يمكن تعريف الطاقة الداخلة المطلقة بالعمل الذي قامت به القوة في العازل (والتي تتألف من قوة الاحتكاك F_{μ} وقوة الإرجاع F_r) والناتجة عن الانتقال الأرضي. جزء من الطاقة الداخلة يبدد في العازل ويسمى بالطاقة المبددة أو الممتصة من قبل العازل (Nlink energy)، والجزء المتبقي من الطاقة الداخلة يتسرب إلى المنشأ ويعرف بالطاقة المتسربة (Recoverable energy). يبدد جزء من هذه الطاقة المتسربة إلى المنشأ بواسطة آلية عدم التلدن (non-yielding mechanisms) والتي تمثل بالتخامد اللزج المكافئ وتسمى بطاقة التخامد النمطي (Modal damping energy). والجزء المتبقي من الطاقة يتألف من الطاقة الحركية لكتل المنشأ (kinetic energy) والطاقة الكامنة (potential energy) الناتجة عن التشوهات الإنشائية المرنة (طاقة التشوه المرنة) (elastic strain energy) والطاقة الناتجة عن ارتفاع المنشأ على طول سطح الانزلاق كما تظهر الأشكال (4-87) و (4-88) و (4-90) و (4-91).



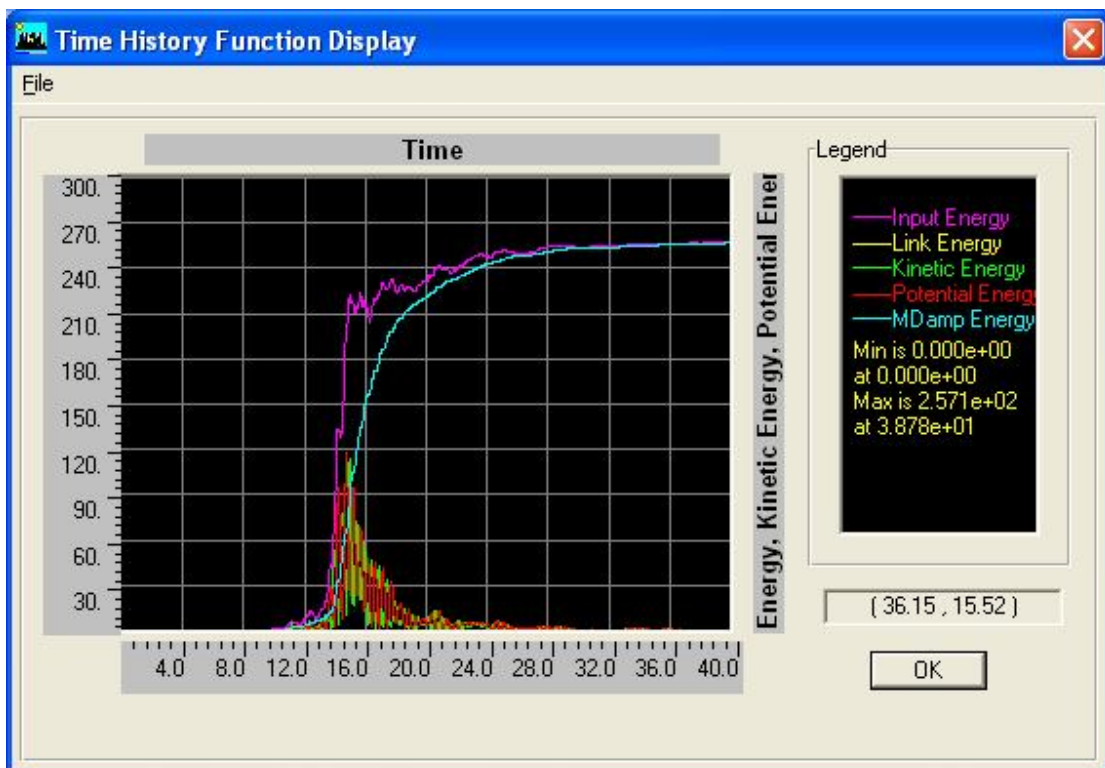
الشكل(4-86) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج C تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل



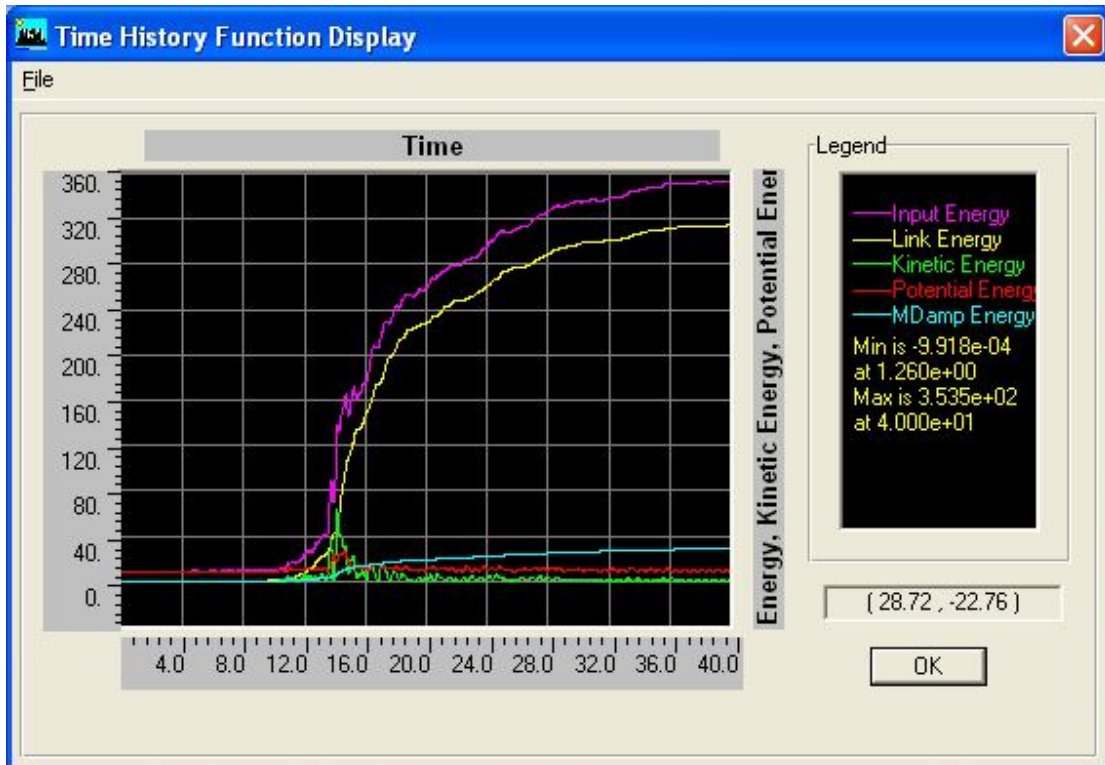
الشكل(4-87) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج C تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



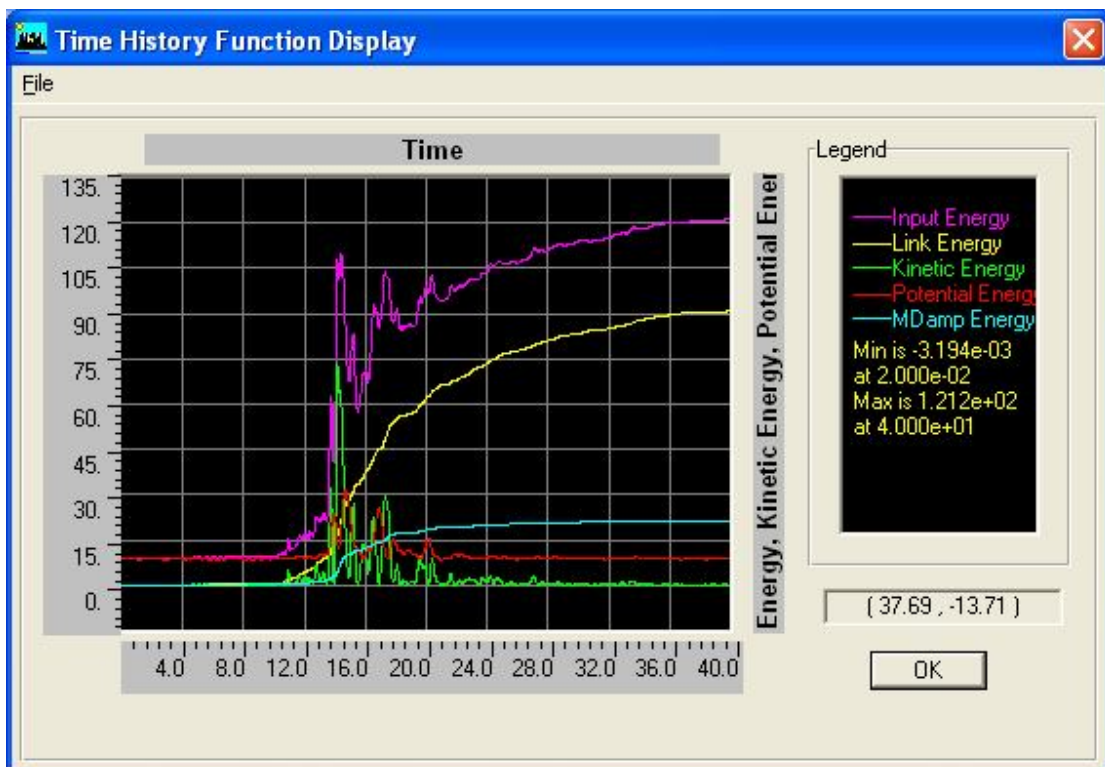
الشكل (4-88) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج C تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة Ball System



الشكل (4-89) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج F تحت تأثير زلزال لوما بريتا قبل العزل



الشكل(4-90) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج F تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة FPS



الشكل(4-91) مخطط السجل الزمني للطاقة في النموذج F تحت تأثير زلزال لوما بريتا بعد عزله بواسطة

Ball System

4-5- مقارنة بين فعالية نظامي العزل المدروسين تجاه مقادير الاستجابة الديناميكية للأبنية المدروسة:

Comparison efficiency of the two isolation systems for the dynamic response quantities of the studied buildings:

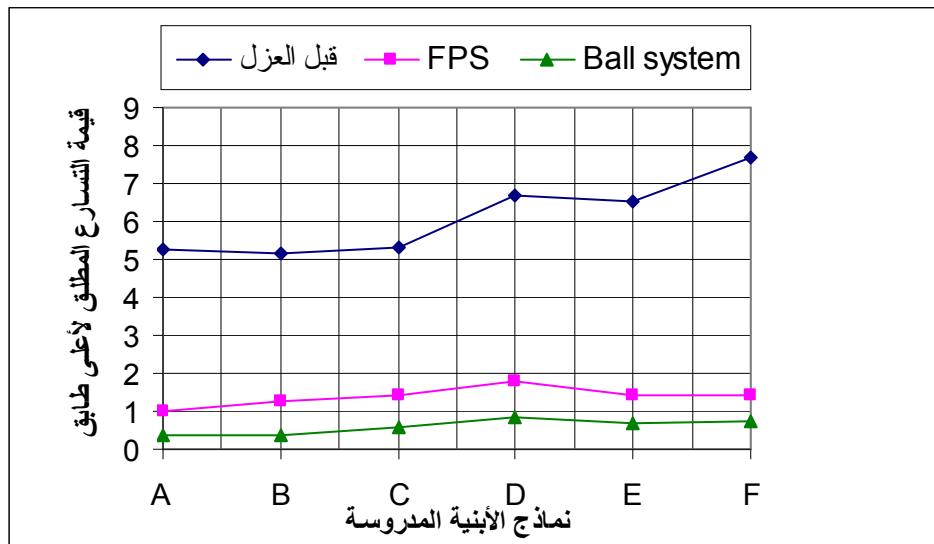
إن مقادير الاستجابة الديناميكية التي سوف نعتمدها من أجل المقارنة هي ما يلي:

1- التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق:

سوف نبين من خلال الجداول التالية والأشكال البيانية المرفقة معها قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق في كل نموذج مدروس وفق الاتجاهين الأفقيين وتحت تأثير الزلازل المذكورين سابقاً، وذلك بهدف تبيان مساهمة كلا العازلين في تخفيض قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق.

الجدول (4-19) قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق (m/sec^2) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة لفPS	نسبة التخفيض % بالنسبة للBall System
A	5.281	0.999	0.375	81.08	92.9
B	5.182	1.257	0.392	75.74	92.44
C	5.296	1.407	0.555	73.43	89.52
D	6.693	1.77	0.859	73.55	87.17
E	6.552	1.426	0.6612	78.24	89.91
F	7.678	1.443	0.713	81.20	90.71

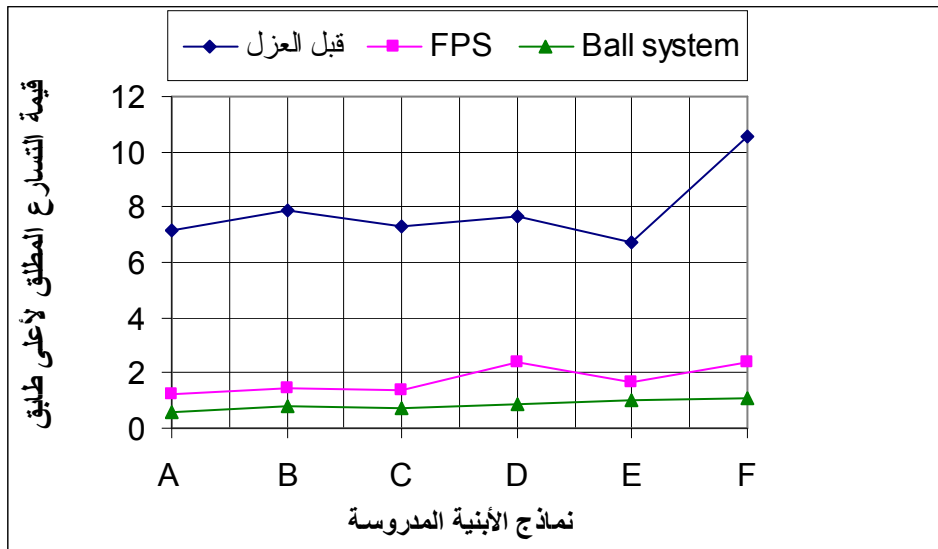


الشكل (4-92) المخطط البياني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النماذج المدروسة وفق المحور

X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول(4-20) قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق (m/sec^2) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

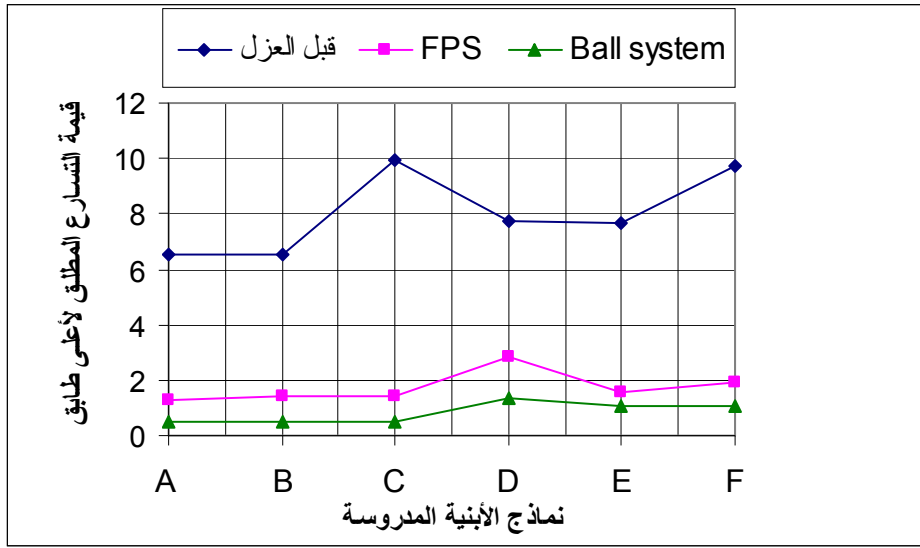
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للتخفيض Ball System	نسبة التخفيض % بالنسبة للتخفيض FPS
A	7.128	1.219	0.554	92.22783	82.89843
B	7.875	1.446	0.814	89.66349	81.6381
C	7.280	1.378	0.757	89.60165	81.07143
D	7.651	2.41	0.899	88.2499	68.50085
E	6.695	1.65	1.014	84.85437	75.35474
F	10.590	2.368	1.093	89.67894	77.63928



الشكل(4-93) المخطط البياني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول(4-21) قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق (m/sec^2) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

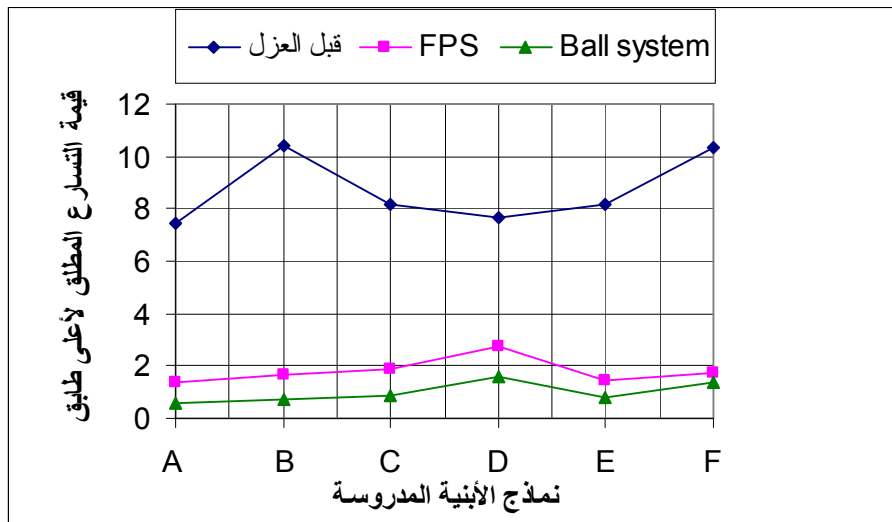
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للتخفيض Ball System	نسبة التخفيض % بالنسبة للتخفيض FPS
A	6.559	1.275	0.4872	92.57204	80.56106
B	6.546	1.385	0.474	92.75894	78.84204
C	9.962	1.389	0.5093	94.88757	86.05702
D	7.721	2.82	1.325	82.83901	63.47623
E	7.686	1.585	1.039	86.48192	79.37809
F	9.714	1.904	1.044	89.25263	80.39942



الشكل (4-94) المخطط البياني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النماذج المدروسة وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

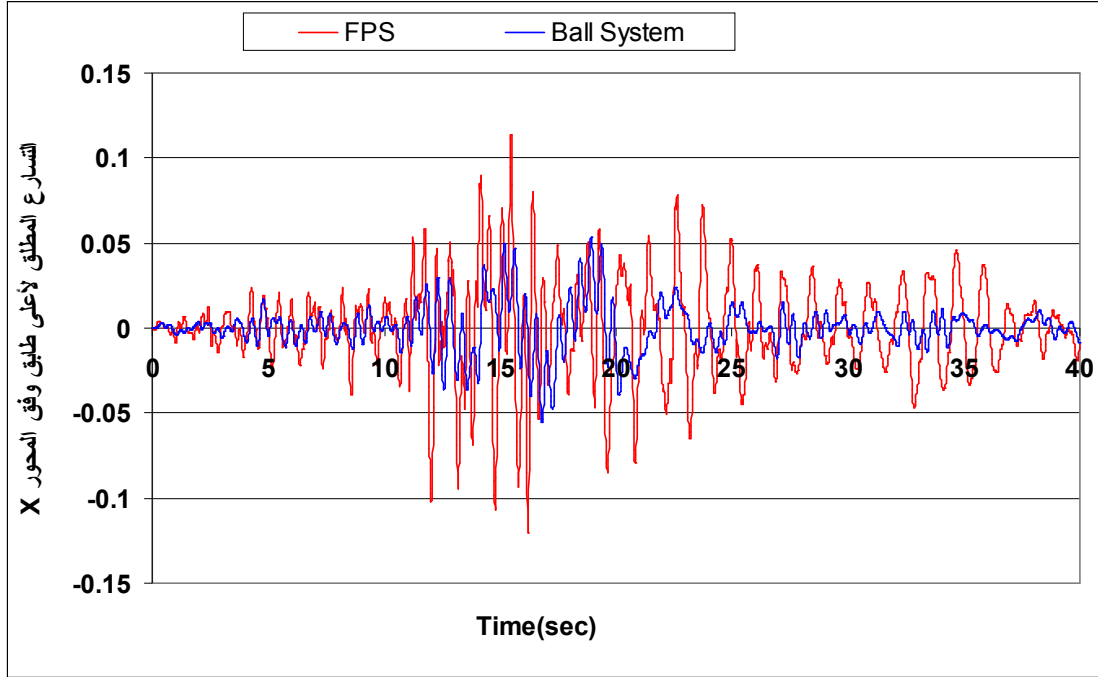
الجدول (4-22) قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق (m/sec^2) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للـ FPS	نسبة التخفيض % بالنسبة للـ Ball System
A	7.449	1.381	0.609	81.4606	91.82441
B	10.4	1.696	0.714	83.69231	93.13462
C	8.154	1.855	0.835	77.25043	89.75963
D	7.681	2.76	1.605	64.06718	79.10428
E	8.164	1.442	0.816	82.33709	90.0049
F	9.714	1.904	1.044	80.39942	89.25263

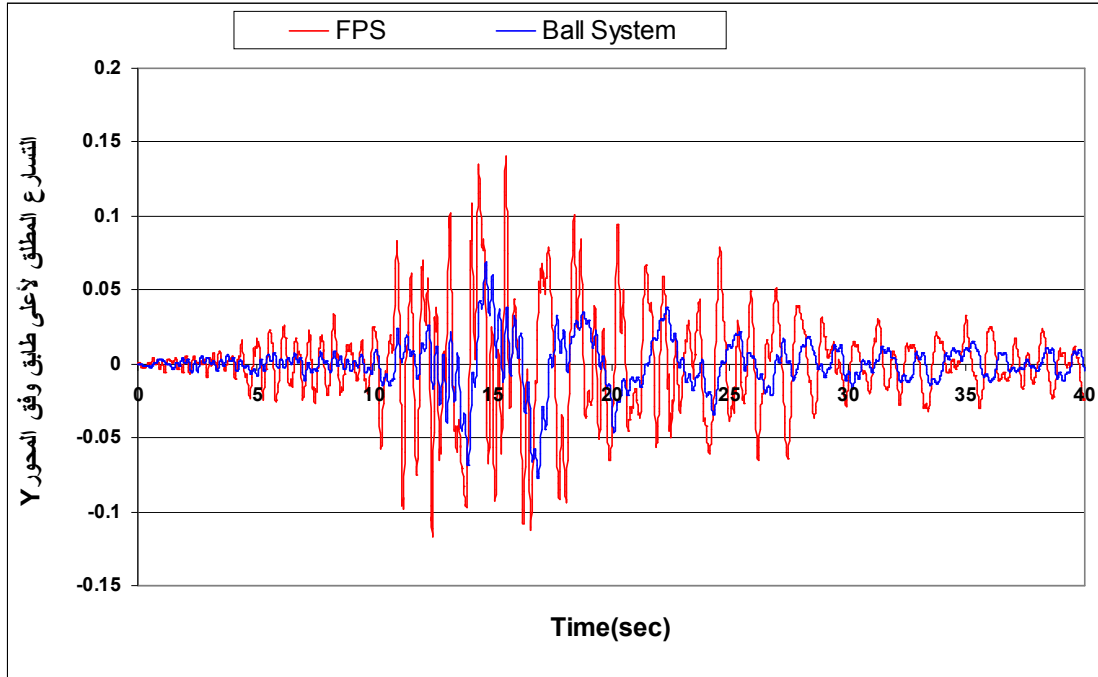


الشكل (4-95) المخطط البياني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

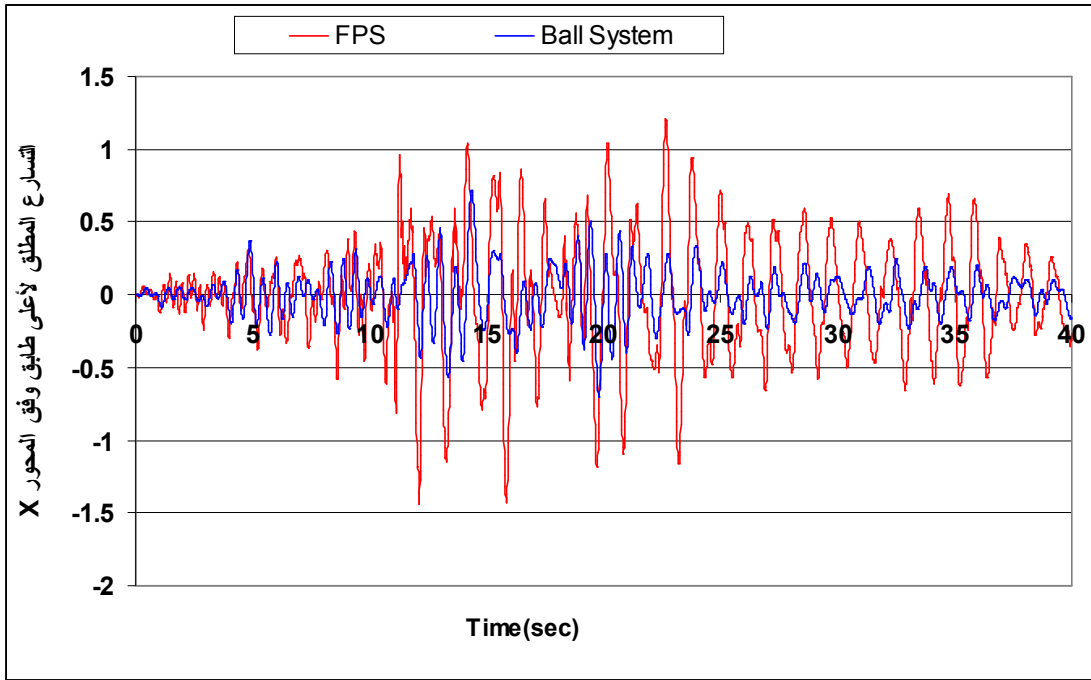
- سوف نوضح من خلال الشكلين التاليين السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج F,C تحت تأثير زلزال لوما بريتا وذلك بعد عزله بواسطة نظام الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي، وذلك بهدف تبيان الفرق في الاستجابة للنموذج في حالتي العزل.



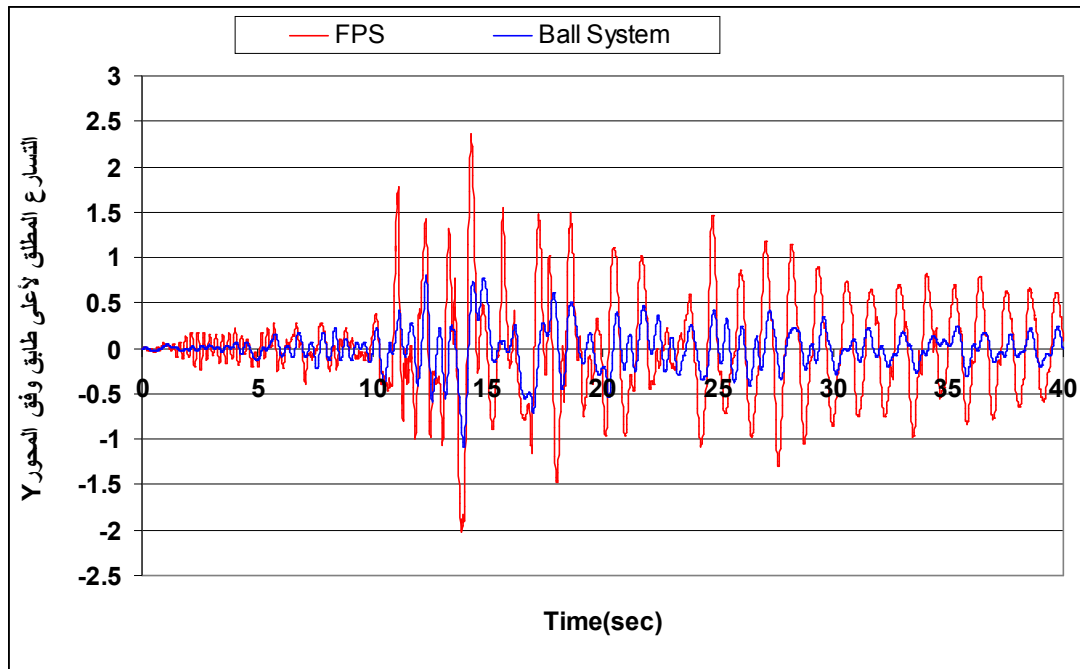
الشكل(4-96)السجل الزمني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا



الشكل(4-97)السجل الزمني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج C وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا



الشكل (4-98) السجل الزمني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا



الشكل (4-99) السجل الزمني لقيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق في النموذج F وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

من الجداول والأشكال السابقة يمكن القول إن عازل النواس الاحتكاكي يبدي تسارعاً أعلى من نظام الكرات وهذا يعود للاحتكاك الذي يتميز به هذا العازل.

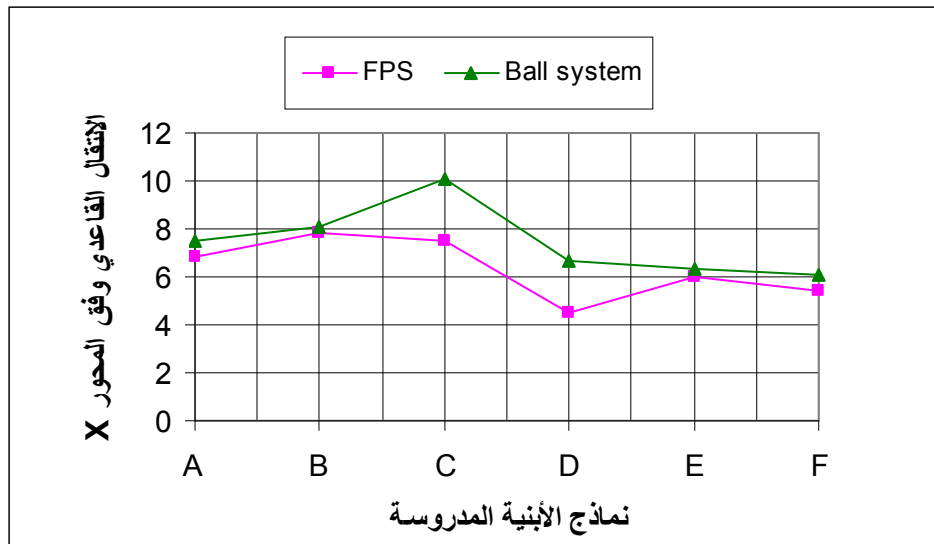
✍ إن نسب تخفيض قيم التسارع المطلق التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة مشابهة للنتائج التي تم التوصل إليها في التجارب العالمية (الفصل الثالث).

2- الانتقال القاعدي **base displacement** أو ما يعرف بانتقال العازل **bearing displacement**:

بما أن قيمة الانتقال القاعدي الأفقي (الانتقال النسبي لمستوي العزل) تؤثر بشكل كبير على تصميم العازل، وبالتالي تقييم حجم العازل المراد استخدامه في العزل الزلزالي. سنبين من خلال الجداول التالية قيمة الانتقال القاعدي الأفقي للنماذج المدروسة وفق الاتجاهين X, Y تحت تأثير الزلازل المذكورين آنفاً، كما نورد المخططات البيانية التي تترجم هذه القيم.

الجدول (4-23) قيمة الانتقال القاعدي (cm) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

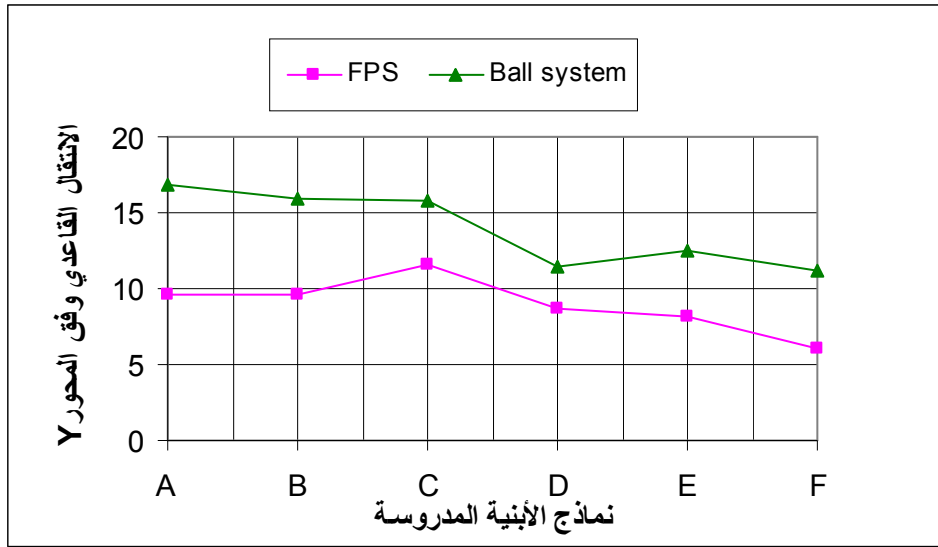
اسم النموذج	FPS	Ball system
A	6.860	7.52
B	7.840	8.09
C	7.530	10.09
D	4.54	6.690
E	6.01	6.37
F	5.420	6.07



الشكل (4-100) المخطط البياني لقيمة الانتقال القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول (4-24) قيمة الانتقال القاعدي (cm) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

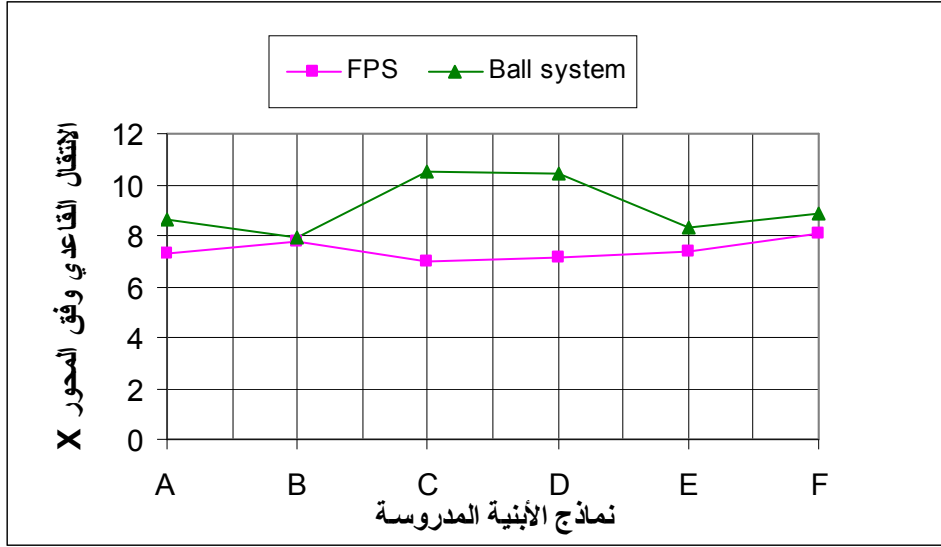
اسم النموذج	FPS	Ball system
A	9.640	16.84
B	9.640	15.97
C	11.520	15.77
D	8.66	11.460
E	8.22	12.54
F	6.040	11.24



الشكل (4-101) المخطط البياني لقيمة الانتقال القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول (4-25) قيمة الانتقال القاعدي (cm) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

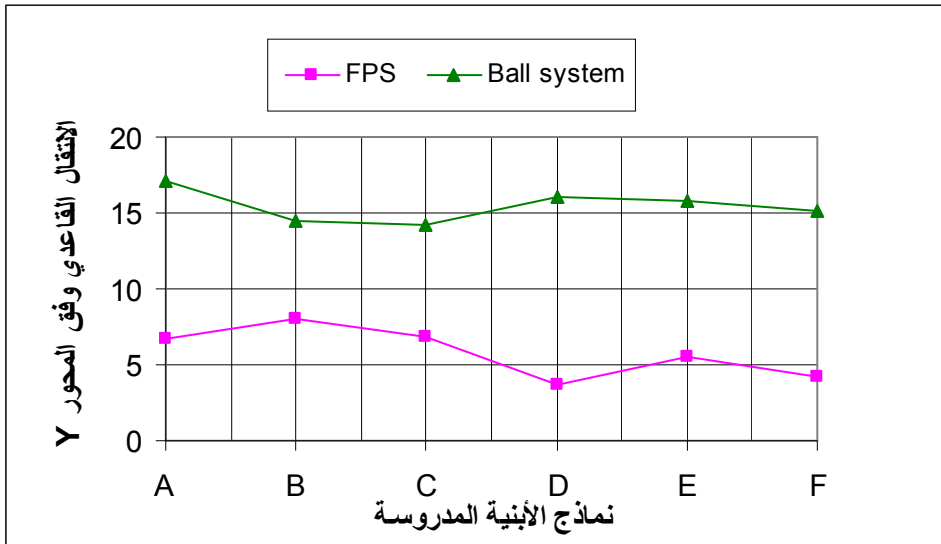
اسم النموذج	FPS	Ball system
A	7.260	8.63
B	7.750	7.95
C	7.0	10.5
D	7.12	10.420
E	7.41	8.33
F	8.050	8.9



الشكل (4-102) المخطط البياني لقيمة الانتقال القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

الجدول (4-26) قيمة الانتقال القاعدي (cm) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

اسم النموذج	FPS	Ball system
A	6.68	17.13
B	7.98	14.49
C	6.80	14.22
D	3.69	16.08
E	5.49	15.75
F	4.21	15.16



الشكل (4-103) المخطط البياني لقيمة الانتقال القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

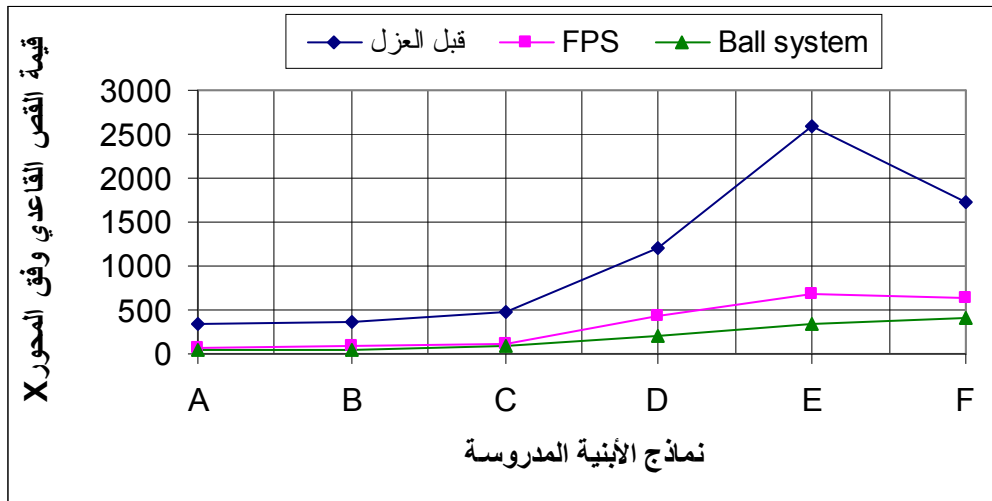
نلاحظ أن عازل النواس الاحتكاكي (FPS) يعطي انتقالاً قاعدياً أقل وهذا يتعلق بقيمة معامل الاحتكاك إذ أن العوازل ذات معامل الاحتكاك الأعلى تعتبر أكثر فعالية من ناحية التحكم بالانتقال، وسوف نوضح ذلك بشكل أكثر تفصيلاً في الفصل التالي.

3- القص القاعدي: Base Shear

نورد فيما يلي جداول تبين قيم القص القاعدي، ونسب تخفيض قيم القص في النماذج المدروسة وفق الاتجاهين الأفقيين، وتحت تأثير الزلازل المذكورين سابقاً، بالإضافة للمخططات البيانية التي تجسد القيم الواردة في الجداول.

الجدول (4-27) قيمة القص القاعدي (ton) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

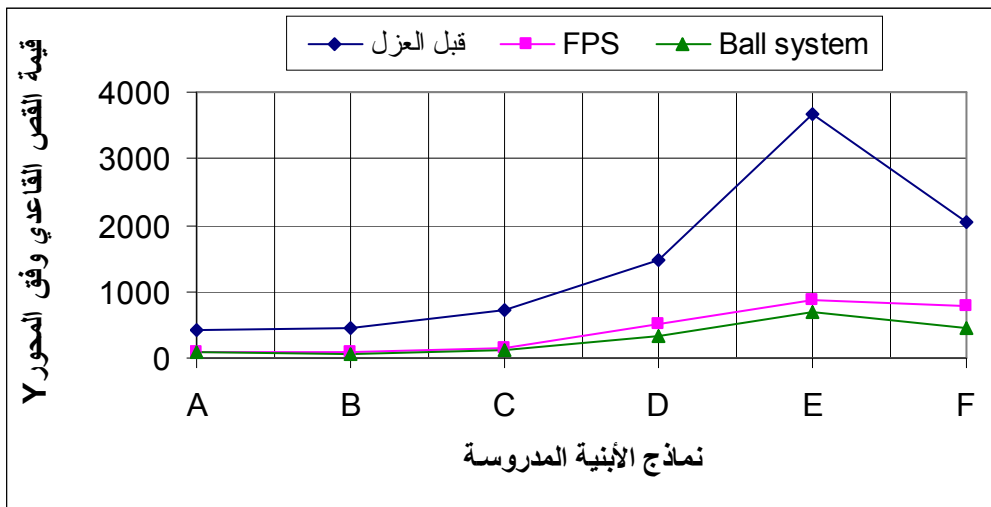
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة لفPS	نسبة التخفيض % بالنسبة للBall System
A	331.1	77.85	44.92	76.5	86.4
B	363.7	89.20	50.64	75.5	86.1
C	466.9	122.30	83.58	73.8	82.1
D	1207	433.80	210.8	64.1	82.5
E	2599	676.60	347.5	74.0	86.6
F	1725	638.10	420.2	63.0	75.6



الشكل (4-104) المخطط البياني لقيمة القص القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول (4-28) قيمة القص القاعدي (ton) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

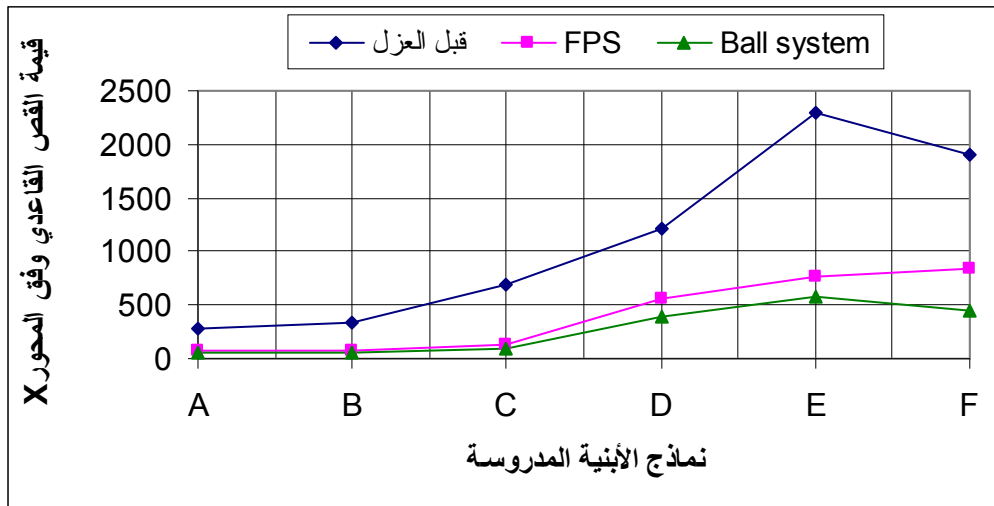
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة للـ Ball System	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة للـ FPS
A	428.8	98.78	85.6	80.0	77.0
B	445.6	75.47	60.91	86.3	83.1
C	716.3	143.90	119.9	83.3	79.9
D	1486	524.20	342.8	76.9	64.7
E	3684	872.80	699	81.0	76.3
F	2041	796.00	442.4	78.3	61.0



الشكل (4-105) المخطط البياني لقيمة القص القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوما بريتا

الجدول (4-29) قيمة القص القاعدي (ton) وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

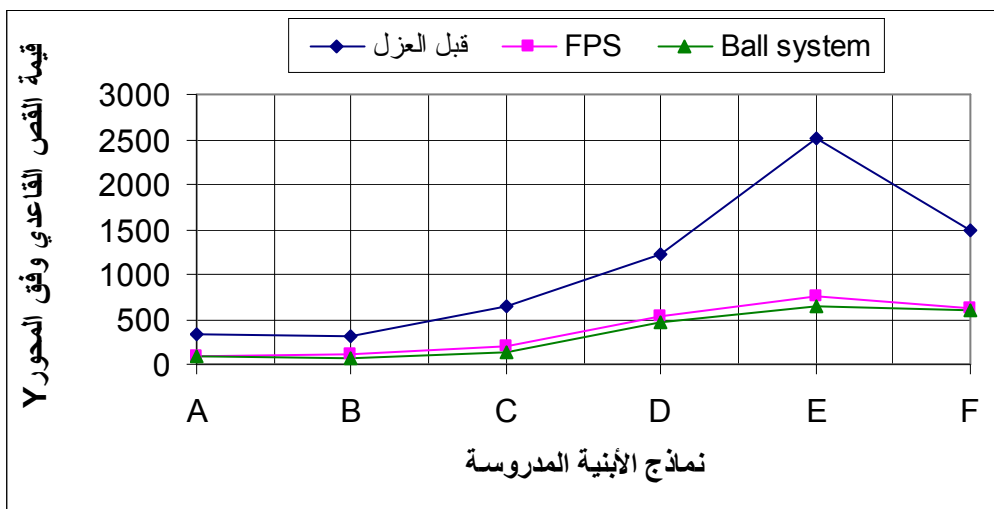
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة للـ Ball System	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة للـ FPS
A	278.0	69.75	52.13	81.2	74.9
B	340.7	79.13	59.35	82.6	76.8
C	685.6	136.40	89.35	87.0	80.1
D	1212	557.00	388.0	68.0	54.0
E	2302	757.90	570.5	75.2	67.1
F	1906	836.10	444.4	76.7	56.1



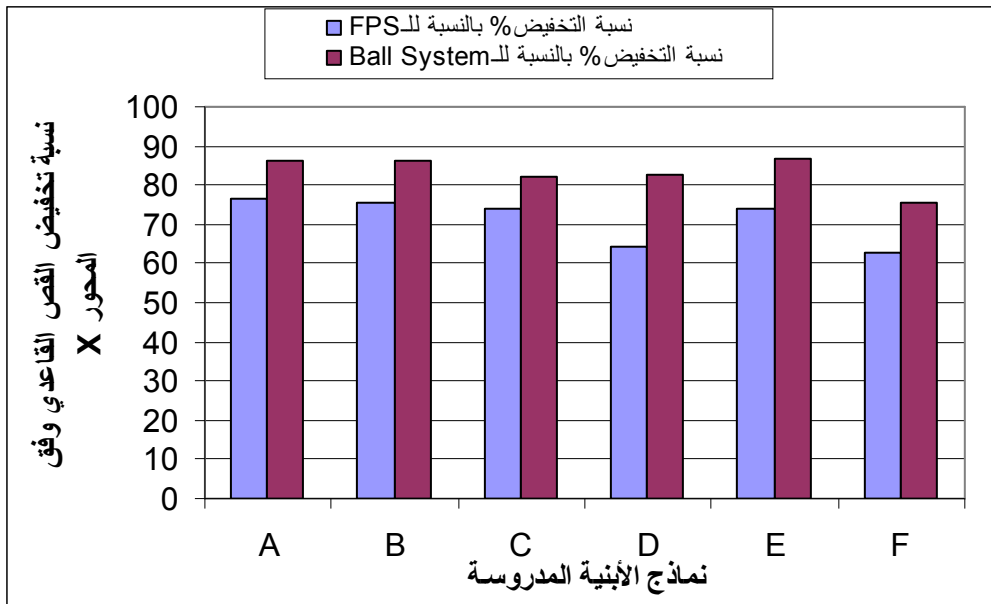
الشكل(4-106) المخطط البياني لقيمة القص القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور X تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

الجدول(4-30) قيمة القص القاعدي (ton) وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

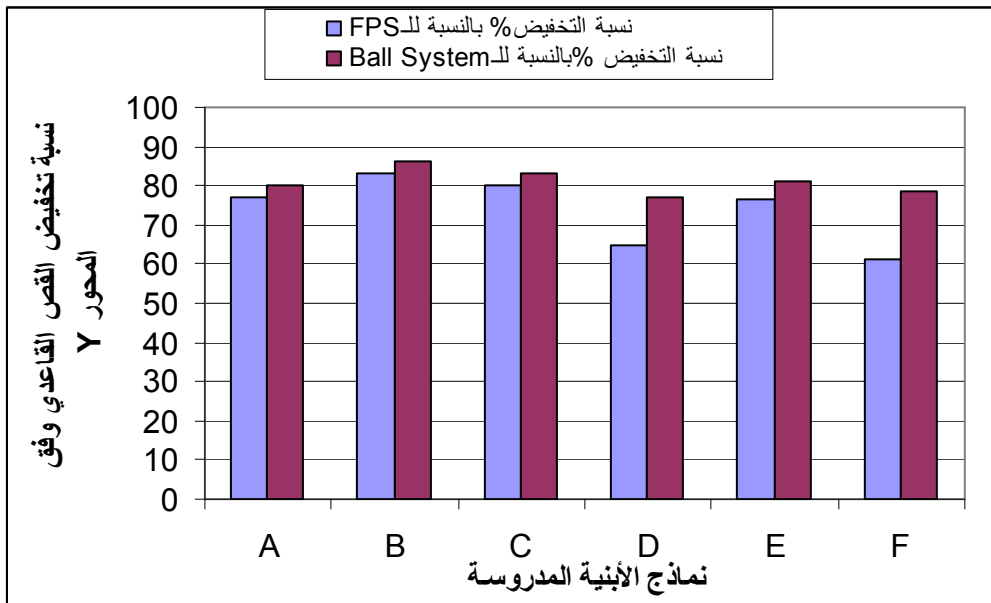
اسم النموذج	قبل العزل	FPS	Ball system	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة	نسبة التخفيض % بالنسبة للنسبة
				للـ Ball System	للـ FPS
A	329.8	99.46	84.41	74.4	69.8
B	318.0	103.60	61.42	80.7	67.4
C	651.9	191.80	132.5	79.7	70.6
D	1220	540.80	471.9	61.3	55.7
E	2515	750.10	641.3	74.5	70.2
F	1486	614.70	540	63.7	58.6



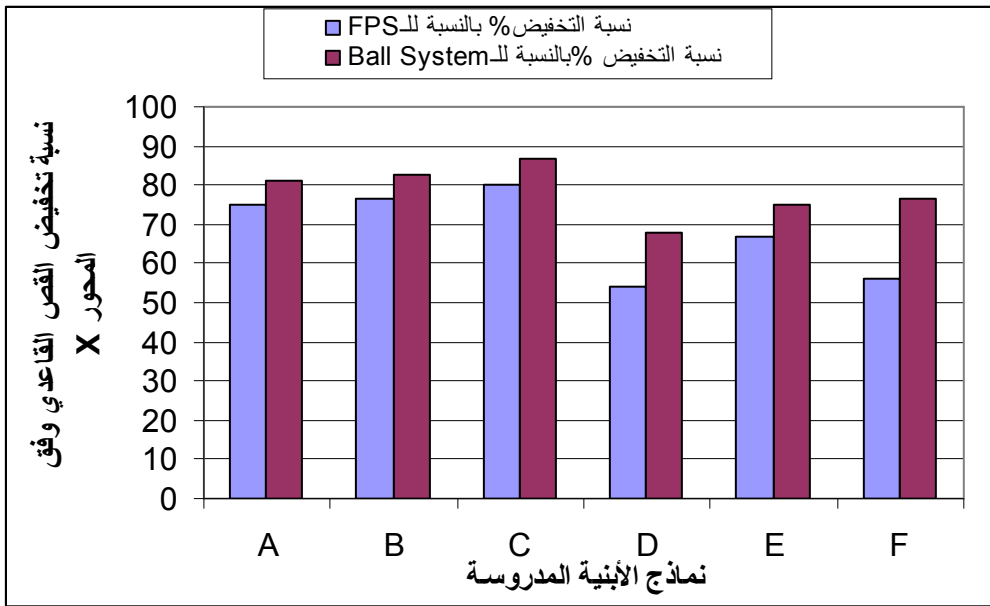
الشكل(4-107) المخطط البياني لقيمة القص القاعدي في النماذج المدروسة وفق المحور Y تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس



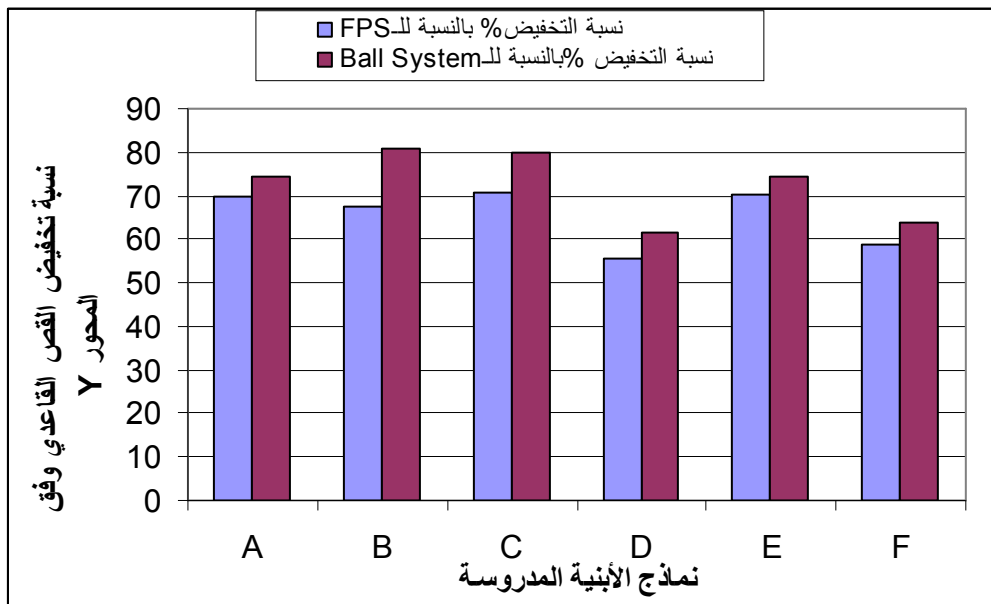
الشكل (4-108) نسب تخفيض قوى القص القاعدي وفق المحور X لنماذج الأبنية المعزولة تحت تأثير زلزال لوما بريتا



الشكل (4-109) نسب تخفيض قوى القص القاعدي وفق المحور Y لنماذج الأبنية المعزولة تحت تأثير زلزال لوما بريتا



الشكل (4-110) نسب تخفيض قوى القص القاعدي وفق المحور X لنماذج الأبنية المعزولة تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

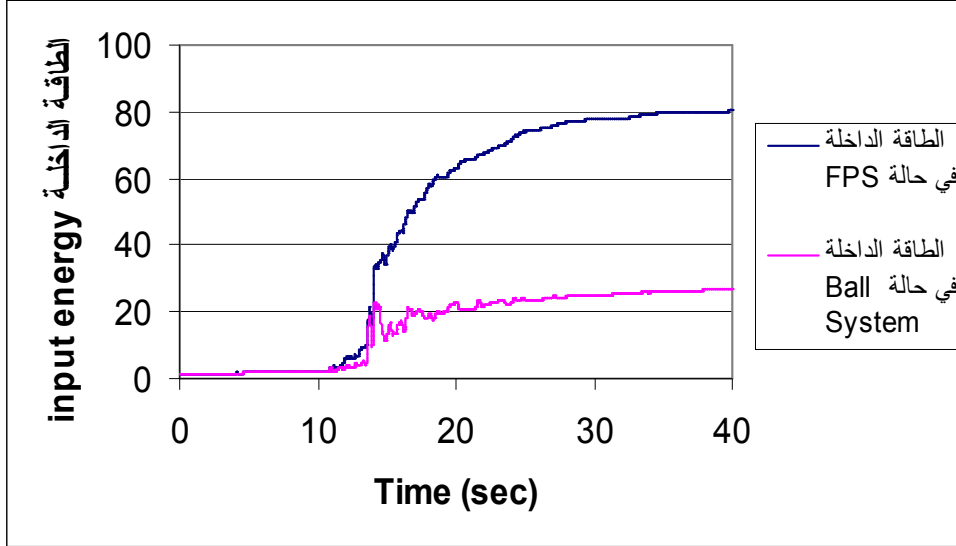


الشكل (4-111) نسب تخفيض قوى القص القاعدي وفق المحور Y لنماذج الأبنية المعزولة تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس

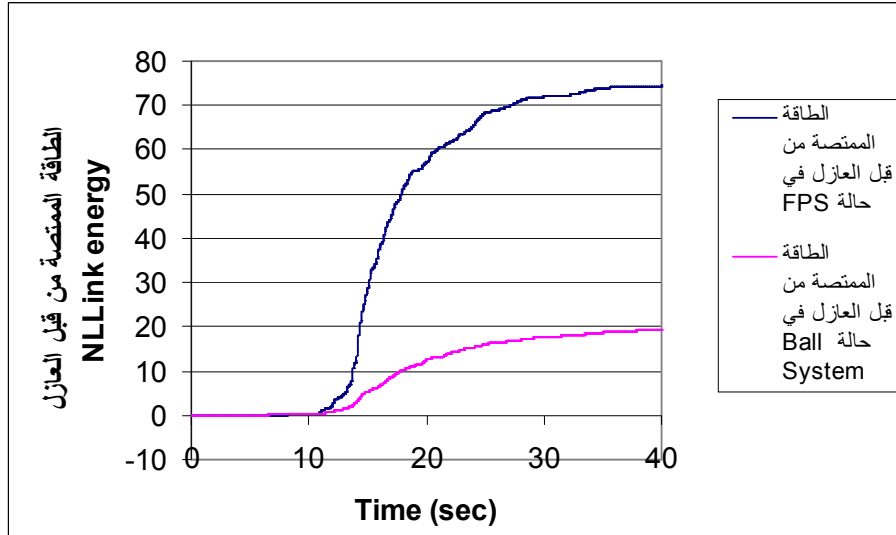
نلاحظ أن استخدام النواس الاحتكاكي كنظام عزل زلزالي للأبنية المدروسة قد أعطى قوة قص أكبر من الحالة التي تم فيها استخدام الكرات المعدنية، أي أن الكرات المعدنية تخفض القص بنسبة أكبر منها في حالة النواس الاحتكاكي.

4- الطاقة: Energy

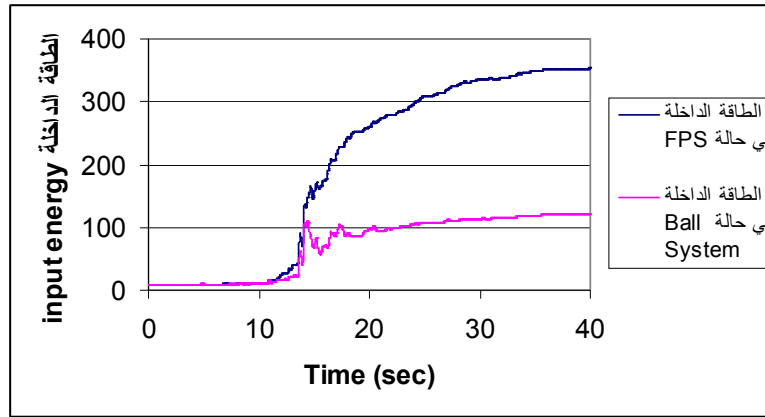
من أجل المقارنة بين أداء العازلين بالنسبة لتبديد الطاقة، سنوضح من خلال الأشكال التالية كلاً من الطاقة الداخلة، الطاقة الممتصة والطاقة المتسربة إلى المبنى المعزول (النموذجين C , F). لقد اعتمدنا في المقارنة على عرض نموذجين اثنين ولكن نتائج هذه المقارنة مشابهة للنتائج التي تم الحصول عليها في النماذج الأخرى.



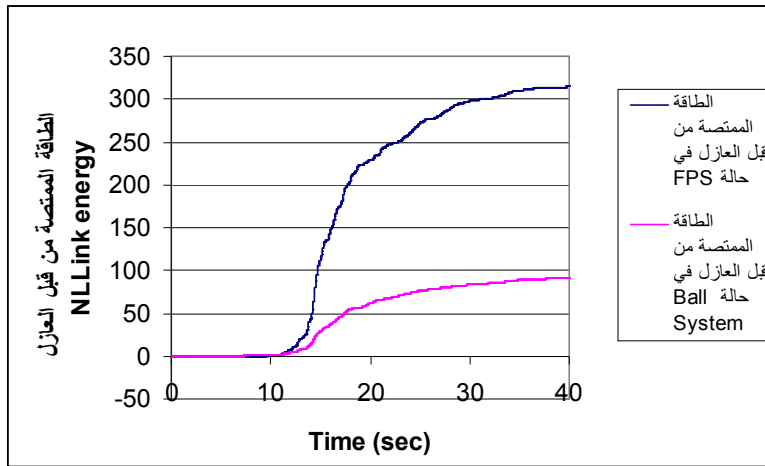
الشكل(4-112) يمثل السجل الزمني للطاقة الداخلة في حالة النموذج C تحت تأثير زلزال لوما بريتا وذلك بعد عزله بواسطة الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي



الشكل(4-113) يمثل السجل الزمني للطاقة الممتصة من قبل العازل في حالة النموذج C تحت تأثير زلزال لوما بريتا وذلك بعد عزله بواسطة الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي



الشكل(4-114) يمثل السجل الزمني للطاقة الداخلة في حالة النموذج F تحت تأثير زلزال لوما بريتا وذلك بعد عزله بواسطة الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي



الشكل(4-115) يمثل السجل الزمني للطاقة الممتصة من قبل العازل في حالة النموذج F تحت تأثير زلزال لوما بريتا وذلك بعد عزله بواسطة الكرات المعدنية والنواس الاحتكاكي

نلاحظ من الشكلين(4-112) و(4-114) أنّ الطاقة الداخلة في حالة العازل FPS أكبر منها في حالة الكرات وبشكل واضح، على اعتبار أن القوة التي ينقلها عازل النواس الاحتكاكي أكبر من القوة التي تنقلها الكرات المعدنية.

يظهر الشكلان(4-113) و(4-115) أنّ الطاقة الممتصة من قبل عازل النواس الاحتكاكي أكبر من الطاقة الممتصة من قبل عازل الكرات المعدنية وبشكل واضح، وهذا يعود لتبديد الطاقة من خلال الاحتكاك على سطح الانزلاق أثناء الحركة في عازل النواس أكثر من عازل الكرات، حيث يتم انزلاق كرات معدنية على سطح صقيل، وبالتالي يمكن القول إنّ أداء عازل النواس الاحتكاكي كمبدد للطاقة أكثر منه كعازل، بينما أداء الكرات على العكس من ذلك.

الفصل الخامس

تأثير بعض العوامل الخاصة بنظام العزل على الاستجابة الزلزالية Effect of certain parameters of isolator on the the Seismic Response

1-5- مقدمة: introduction

في الحالة التي يتم فيها استخدام العزل الزلزالي كشكل من أشكال الحماية الزلزالية، من الضروري جداً فهم البارامترات المختلفة المؤثرة على استجابة المنشأ المعزول. وخصوصاً في حالة المنشآت التي تحوي أجهزة حساسة، إذ أنّ تحديد التسارع والانتقال الأعظمين يعتبران مفتاح المسألة للمهندس المصمم. في الواقع، إن مقدار المسافة الفاصلة بين المنشأ المعزول والمنشآت المجاورة (separation gap distance) يؤثر بشكل كبير على التصميم، فعندما تكون هذه المسافة غير كافية سيحدث ضرر كبير في العازل وخروجه عن العمل مسبباً بذلك أضراراً كبيرة للمنشأ المعزول. من أجل تجنب هذه الأضرار يجب أن يكون هناك تقييم صحيح للانتقال القاعدي الأعظمي، وأن يتم إنشاء مسافة فاصلة حول المبنى بشكل كافٍ توافق الانتقال الأعظمي التصميمي، من أجل معرفة قيمة هذا الانتقال والمسافة الفاصلة اللازمة، من الضروري أولاً وبشكل ملح معرفة البارامترات المختلفة التي تؤثر على انتقال العازل وبالتالي تأثيره على التسارعات الطابقية.

إنّ اختيار البارامترات المختلفة المقترنة بنظام العزل هام جداً من أجل التحكم بمقادير الاستجابة وخصوصاً الانتقال القاعدي الكبير عند مستوي العزل.

سوف ندرس في البداية تأثير شكل النموذج الرياضي لسلوك نظام العزل الزلزالي (هل هو نموذج خطي مكافئ أم نموذج ثنائي الخطية)، ثم سنبين لاحقاً مدى تأثير كل من معامل الاحتكاك ونصف قطر التقعر لعازل النواس الاحتكاكي الذي تمت محاكاته بنموذج ثنائي الخطية.

2-5- مقارنة بين استجابة المبنى المعزول بنموذج خطي مكافئ وبمؤذج ثنائي الخطية:

Comparison of Response of Isolated Structure for Bilinear and Equivalent Linear Model

من أجل دراسة ومقارنة الاختلاف في الاستجابة الزلزالية للأبنية المعزولة بنماذج عوازل خطية مكافئة أو ثنائية الخطية، فقد تم اختيار مبنى (النموذج G) مؤلف من ثمانية طوابق أبعاده (30m × 17m) ، جملته الإنشائية إطارات وجدران قص (جملة مختلطة) كما يوضح الشكل (5-1).

أبعاد جوائز المبنى في كافة الطوابق المتكررة (cm): 75×30, 65×30.

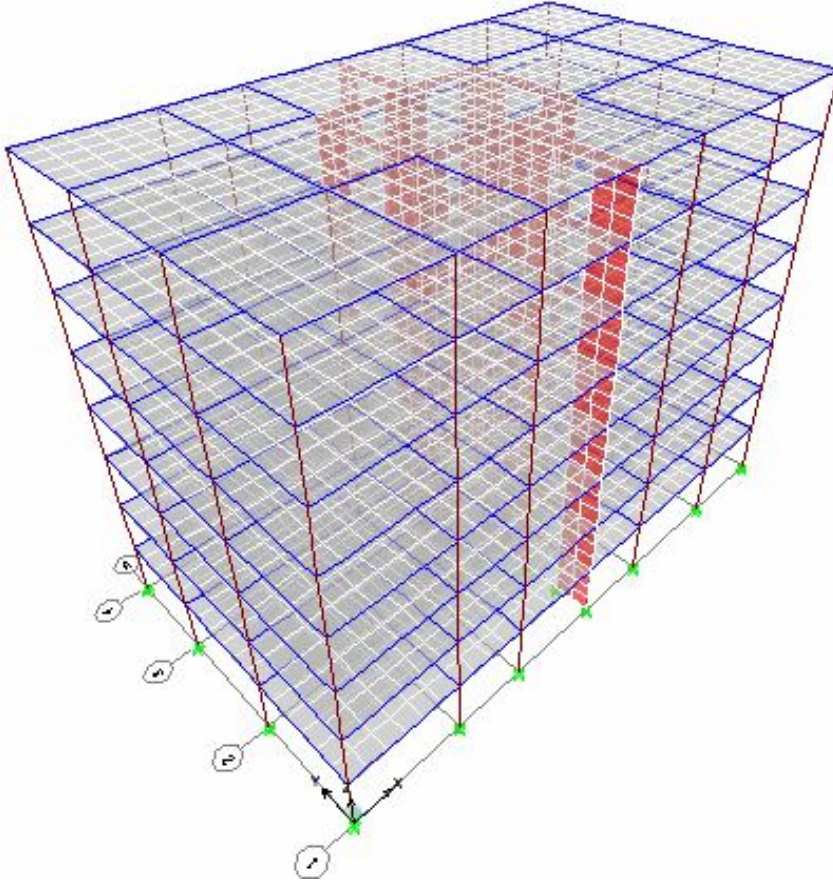
مقاطع الأعمدة (cm): 80×50, 70×50, 60×60, 50×50.

سماكة مقطع جدران القص (cm): 40, 30 متغيرة مع الارتفاع.

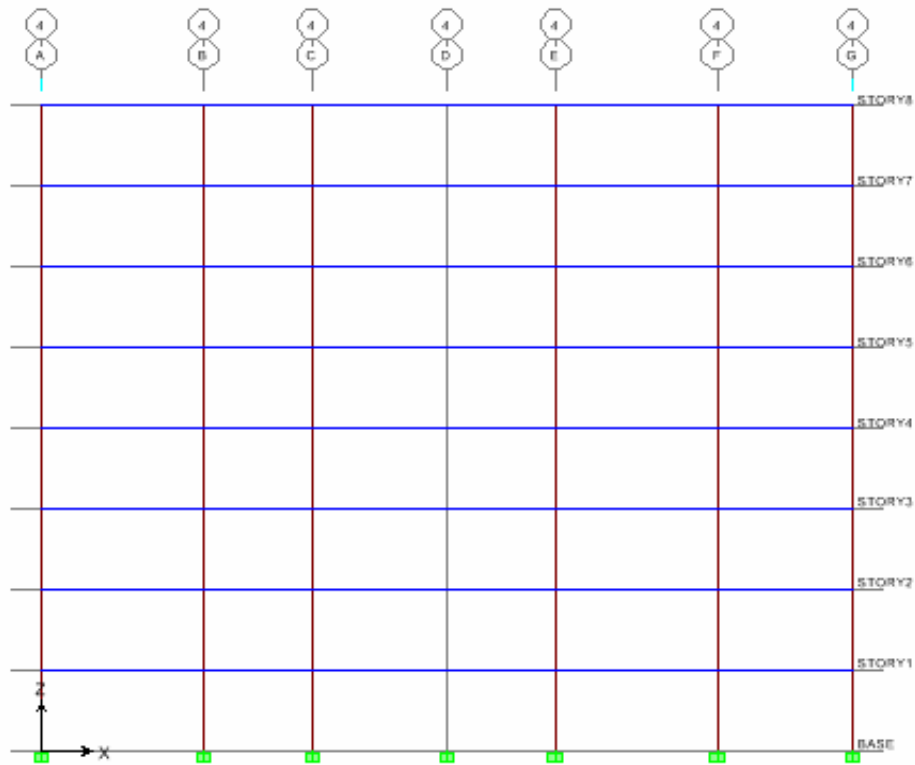
ارتفاع الطابق المتكرر 3m ، الحمولة الميتة على البلاطات 0.2 Ton/m² والحمولة الحية 0.3Ton/m².

الوزن الميت الكلي للمبنى (W=4931.5 ton) ودوره الأساسي (Ts=0.6309 sec).

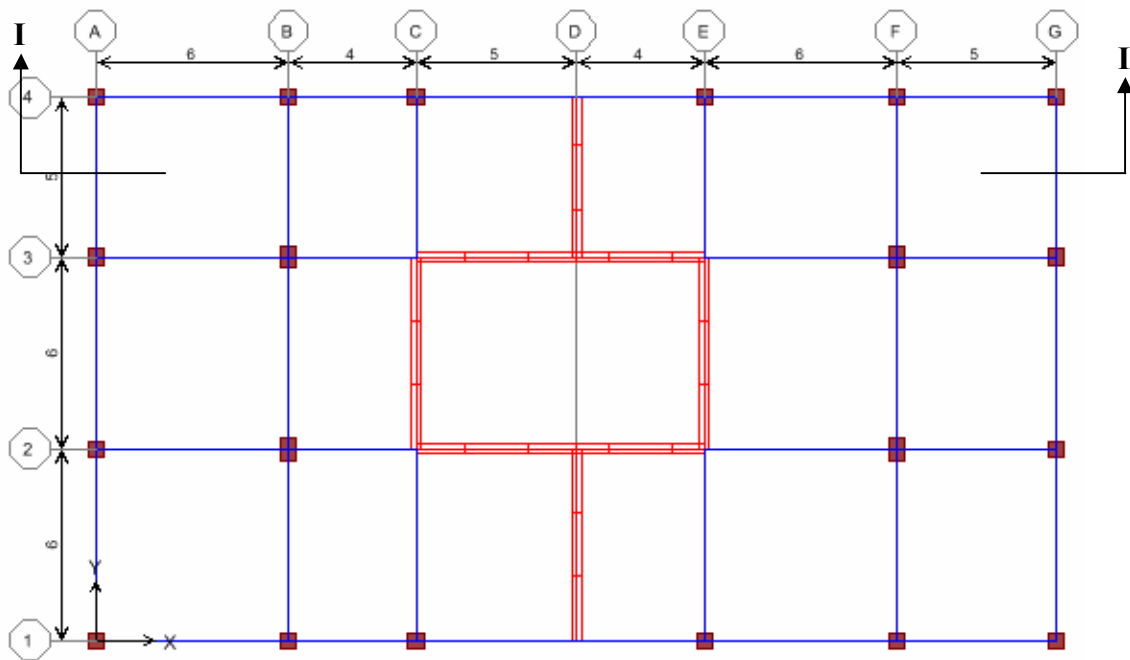
تظهر الأشكال (5-2), (5-3) مقطع شاقولي في المبنى، مسقط للطابق المتكرر ومسقط يبين توزيع العوازل. (ملاحظة: الأبعاد على الشكل بالمتر). لعزل هذا المبنى استخدمنا 34 عازلاً.



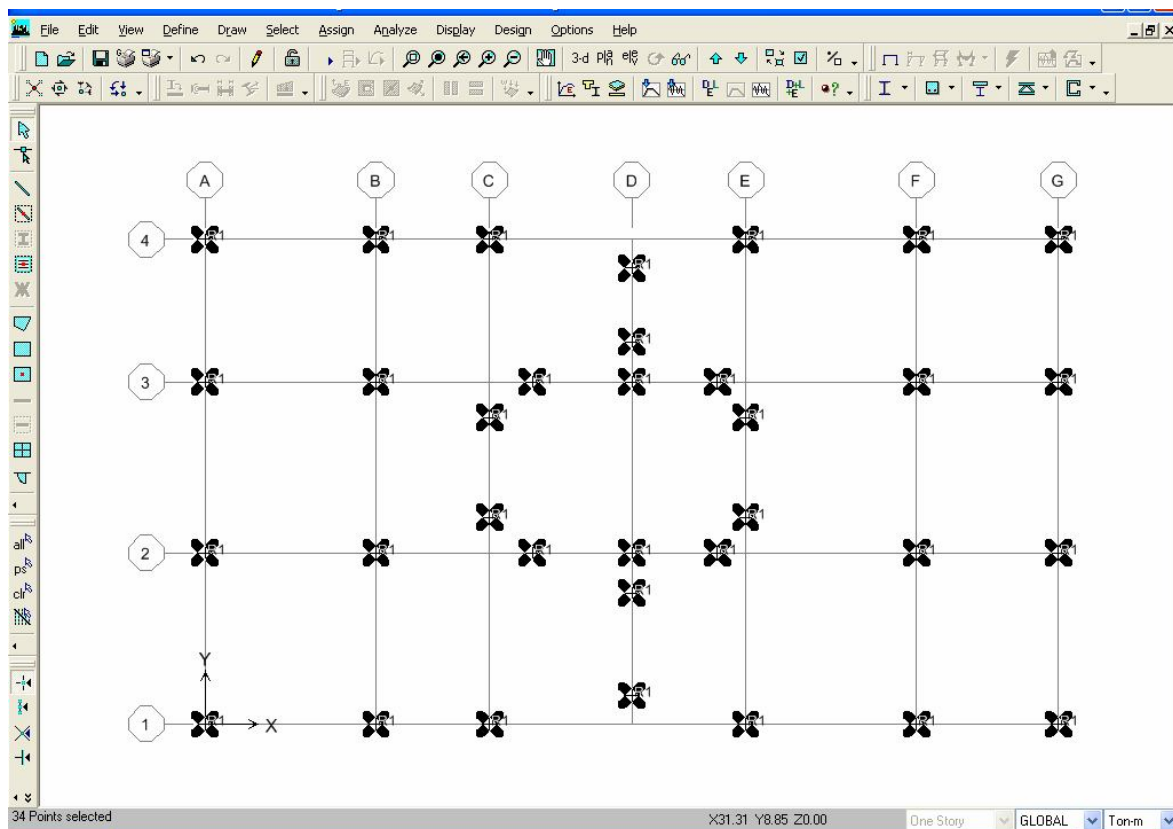
الشكل (5-1) منظور للنموذج G



الشكل (5-2) مقطع شاقولي I-I في النموذج G



الشكل (5-3) مسقط أفقي للطابق المتكرر في النموذج G



الشكل (5-4) مسقط أفقي يبين توزيع العوازل في النموذج G

قمنا بانجاز التحليل الديناميكي لهذا المبنى بمساعدة البرنامج الهندسي Etabs. في الدراسة قمنا باختيار ثلاث مركبات لزلزال حقيقية، المركبة الأفقية لزلزال لوما بريتا ($acc=0.191g$) والمركبة الأفقية لزلزال لوس أنجلوس ($acc=0.222g$) ومركبة أفقية لزلزال السينترو ($acc=0.376g$) وقد تم تطبيقها وفق اتجاهين متعامدين للمبنى.

يتم تحديد متحولات (parameters) النموذج الثنائي الخطية للعوازل تبعاً لمتحولات النموذج الخطي المكافئ والتي تعتمد على اختيار دور عزل T وتخامد لزج فعال β_{eff} . إضافة لذلك يعتبر تحديد الانتقال التصميمي D ضرورياً أيضاً لتعيين متحولات النموذج الثنائي الخطية. ويتم الحصول على الانتقال التصميمي D ، والذي يساوي لانتقال العازل الأعظمي (الانتقال القاعدي) من تحليل المنشأ المعزول باستخدام عوازل من النمط الخطي المكافئ وذلك باعتبار دور عزل T وتخامد فعال β_{eff} . من أجل قيمة افتراضية للانتقال للندن D_y (والذي يعتمد على نوع نظام العزل ثنائي الخطية المستخدم)، فإن متحولات النموذج ثنائي الخطية يتم الحصول عليها من العلاقات (2-29) و (2-31) و (2-32) التي تم عرضها في الفصل الثاني وبحيث تحقق دور عزل T وتخامد فعال β_{eff} .

إن قيم الانتقال التصميمي D المستخدمة في الحساب تحت تأثير زلزال لوما بريتا ، لوس أنجلوس والسينترو كانت على الترتيب 7.1 ، 14.32 ، 47.64 cm. تم الحصول عليها من التحليل الخطي المكافئ مع اعتبار دور عزل فعال $T_{eff} = 2$ sec ، تخامد فعال $\beta_{eff} = 15\%$.

تحسب الصلابة الفعالة الكلية K_{eff} لنظام العزل من العلاقة (2-11):

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{eff}}} \Rightarrow K_{eff} = 4956.418 \text{ ton/m}$$

$$K_{eff} = \frac{4956.418}{34} = 145.777 \text{ ton/m}$$

فتكون الصلابة الفعالة لعازل واحد

يبين الجدول التالي متحولات الحلقة التخلفية الثنائية الخطية:

الجدول (5-1) متحولات الحلقة التخلفية الثنائية الخطية

السينترو		لوس أنجلوس		لوما بريتا		الانتقال التصميمي D(cm)
47.64		14.32		7.1		
25	2.5	25	2.5	25	2.5	D_y (mm) الانتقال اللدن
17.261	16.441	05.956	5.003	3.762	2.526	Q(ton) القوة المميزة العلاقة (2-32)
109.546	111.266	104.186	110.83	92.78	110.19	K_2 (ton/m) العلاقة (2-29)
799.98	6687.82	342.423	2112.234	243.276	1120.767	K_1 (ton/m) العلاقة (2-31)

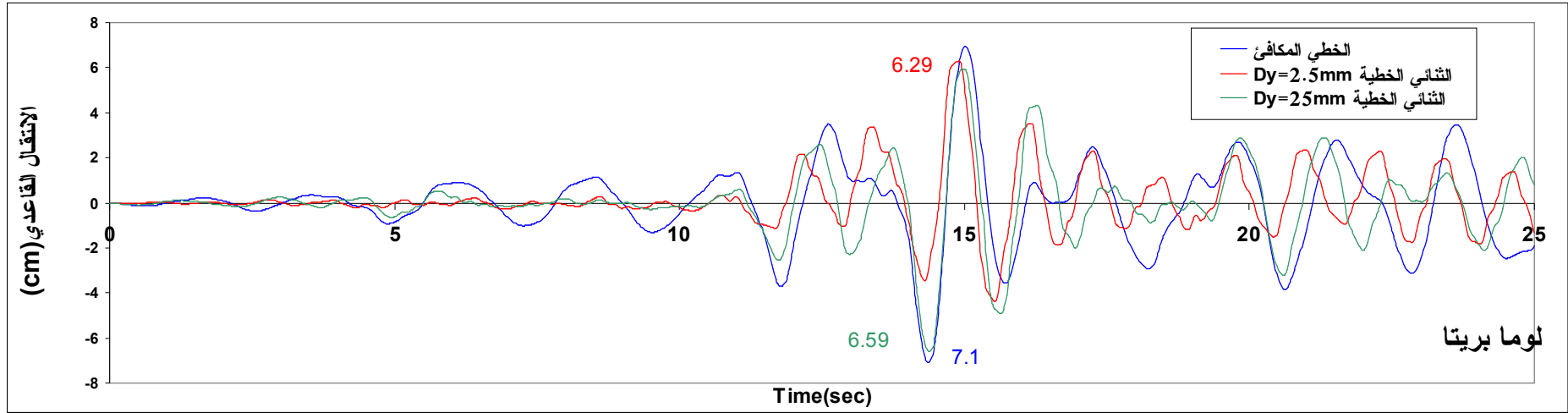
من أجل نماذج العوازل ثنائية الخطية، هناك قيمتان لـ D_y تم اعتبارهما في الدراسة. كما ذكرنا سابقا في الفصل الثالث فإن قيمة $D_y=2.5$ mm مناسبة للعوازل الـ FPS بينما تعتبر القيمة $D_y=25$ mm مناسبة لعوازل المطاط [28].

الجدول (5-2) نتائج تحليل المبنى

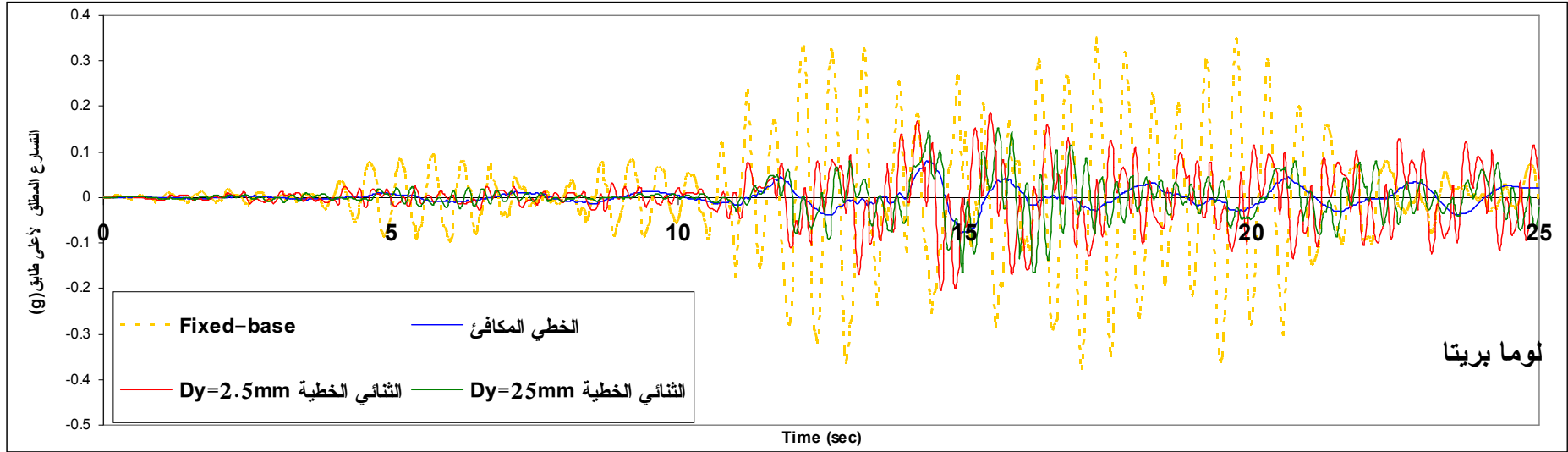
الانتقال القاعدي الأعظمي		التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق				اسم الزلزال
النموذج الثنائي الخطية		النموذج الخطي	النموذج الثنائي الخطية		النموذج الخطي	
Dy=25mm	Dy=2.5mm		Dy=25mm	Dy=2.5mm		
6.59cm	6.29cm	7.1cm	0.165g	0.204g	0.095g	لوما بريتا
7.6cm	4.63cm	14.32cm	0.212g	0.239g	0.161g	لوس أنجلوس
26.55	25.68cm	47.64cm	0.405g	0.467g	0.249g	السينترو

يظهر الشكلان (5-5) و(5-6) تغير قيمة التسارع المطلق الأعظمي لأعلى طابق والانتقال القاعدي تبعاً للزمن تحت تأثير لوما بريتا.

إنّ القيمة العظمى للتسارع المطلق الناتجة عن النموذج الثنائي الخطية هي 0.204g و 0.165g من أجل انتقال لدن 2.5mm و 25mm على التوالي، بينما قيمة التسارع المطلق الأعظمية الناتجة عن استخدام النموذج الخطي هي 0.095g. بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها من دراسة النموذجين بتأثير الحركات الزلزالية، نجد أن النموذج الخطي المكافئ يعطي قيماً للقوى الناشئة في المنشأ العلوي أصغر من تلك القيم التي يعطيها النموذج الثنائي الخطية. من ناحية أخرى نلاحظ أن قيم الانتقال القاعدي الناتجة عن استخدام النموذج الثنائي الخطية هي 6.29cm و 6.59cm من أجل انتقال لدن 2.5mm و 25mm على التوالي، بينما القيمة التي تم الحصول عليها من استخدام النموذج الخطي المكافئ كانت 7.1cm . هذا يعني أنّ قيم الانتقال القاعدي التي يعطيها النموذج الخطي أعلى من القيم التي يعطيها النموذج الثنائي الخطية ، وهذا يتوافق مع ما ورد في المرجع [23] (الفصل الثالث).

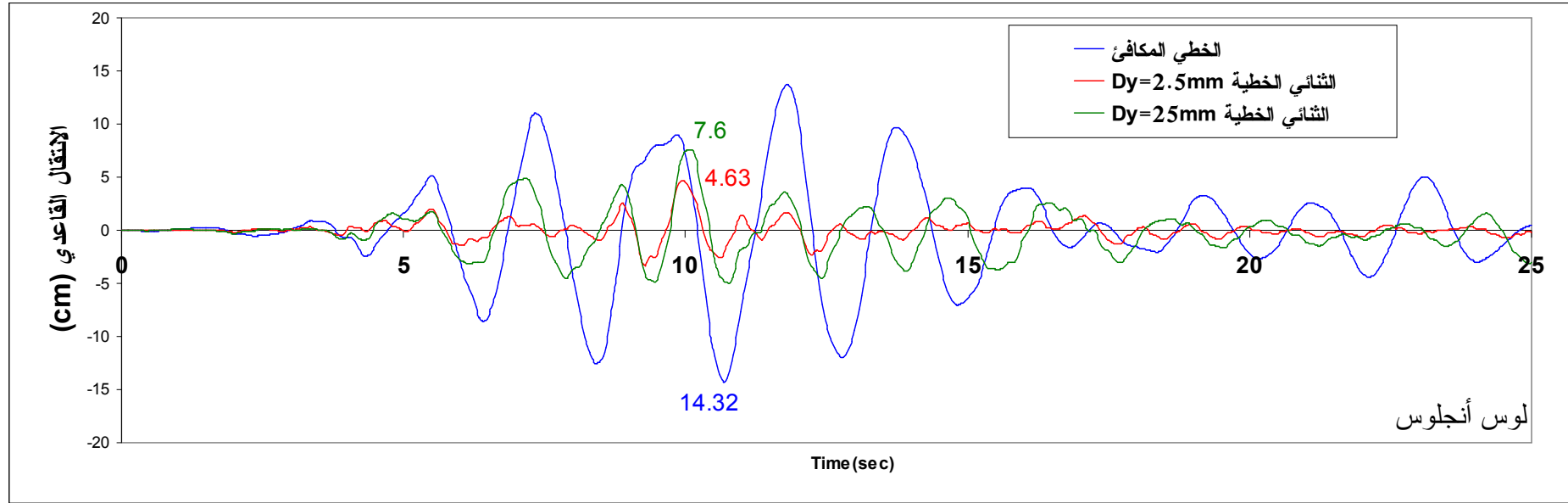


الشكل (5-5) السجل الزمني للانتقال القاعدي للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال لوما بريتا ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)

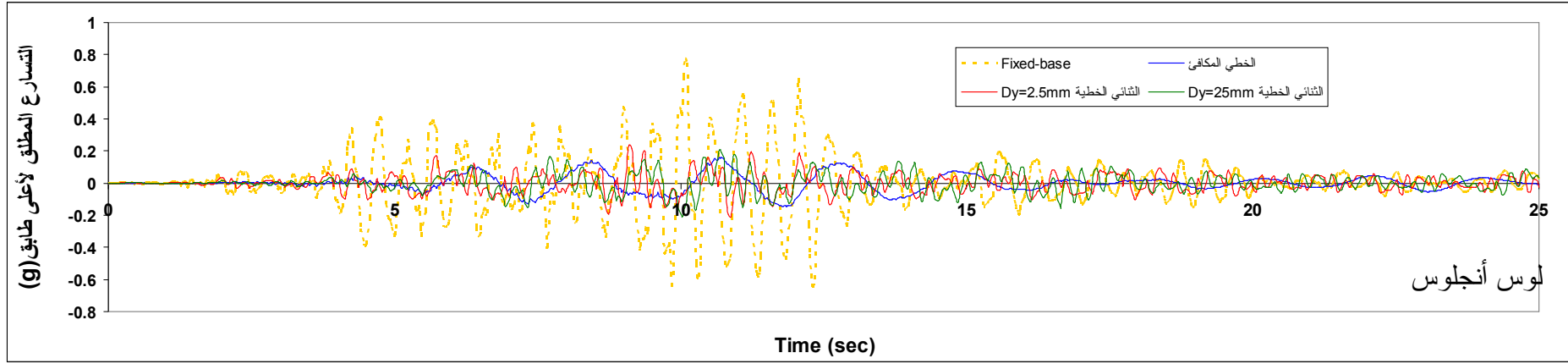


الشكل (5-6) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج المدروس تحت تأثير زلزال لوما برينا ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)

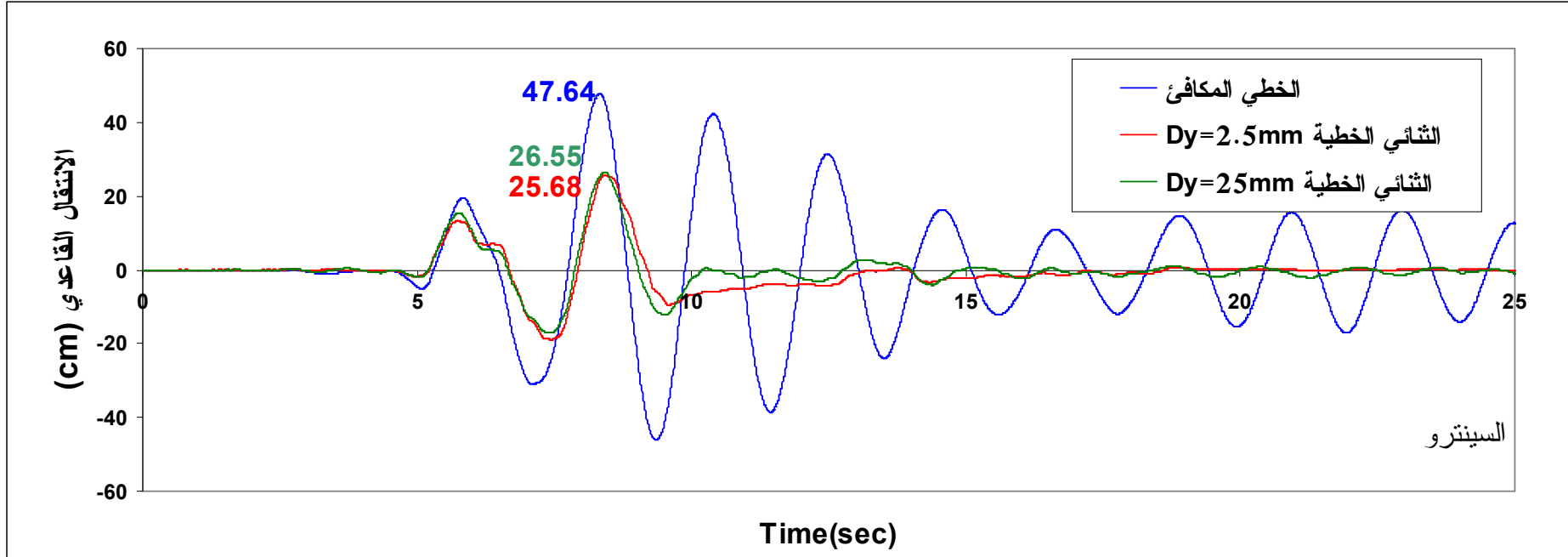
تبيّن الأشكال (5-7),(5-8),(5-9),(5-10) السجل الزمني لكل من التسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي تحت تأثير السجلات الزمنية للحركات الزلزالية لوس أنجلوس والسينترو .



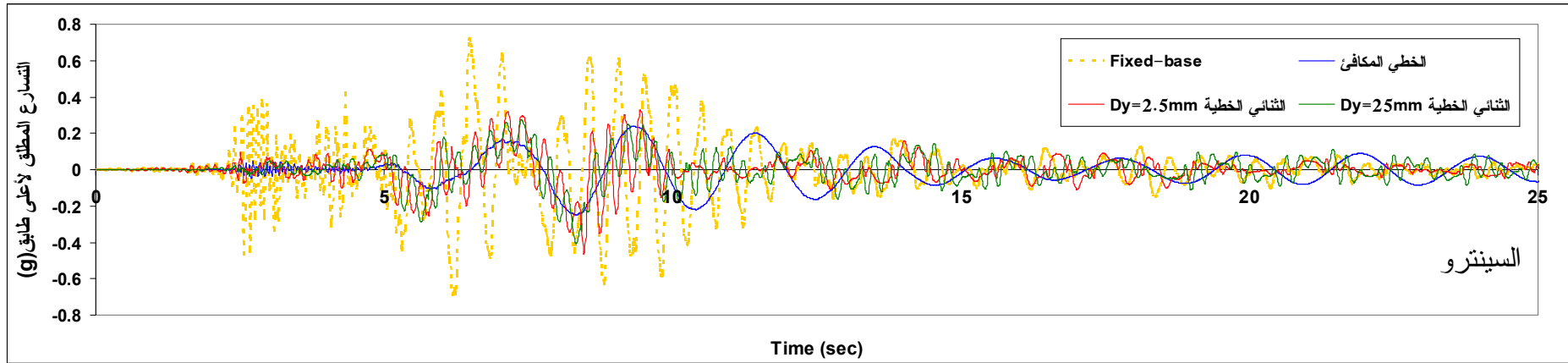
الشكل(5-7) السجل الزمني للانتقال القاعدي للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)



الشكل (5-8) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج المدروس تحت تأثير زلزال لوس أنجلوس ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)



الشكل (5-9) السجل الزمني للانتقال القاعدي للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال السينترو ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)



الشكل (5-10) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج المدروس تحت تأثير زلزال السينترو ($T_{eff}=2\text{sec}$, $B_{eff}=15\%$)

تظهر الأشكال السابقة أنّ هناك اختلافاً كبيراً بين مركبة التردد للتسارع في المنشأ العلوي في حالتها استخدام النموذج الخطي المكافئ والثنائي الخطية، كما أنّ الانتقال القاعدي يتزايد مع زيادة الانتقال للندن للعازل، بينما يتناقص التسارع المطلق للطابق الأعلى مع زيادة الانتقال للندن أو يمكن القول بأن نظام العزل الذي يكون فيه الانتقال للندن صغير جداً، وهي حالة أنظمة العزل التي تعمل بالانزلاق، ينقل إلى المنشأ العلوي قيم تسارع أكبر، وهذه الظاهرة لا تظهر في النموذج الخطي المكافئ، كما نلاحظ أنّ الانتقالات المتبقية في حالة القيمة الكبيرة للانتقال للندن (الحالة الموافقة للمطاط) تكون أكبر منها في حالة القيمة الصغيرة للانتقال للندن (الحالة الموافقة للنواس الاحتكاكي).

5-3- تأثير معامل الاحتكاك ونصف قطر التقعر على أداء نظام النواس الاحتكاكي:

The Effect of the Friction Coefficient and the Radius of Curvature on the Performance of the Friction Pendulum System:

من خلال التحليل الديناميكي للنماذج التي تمت دراستها في الفصل السابق تبين أن أنظمة العزل الزلزالي التي تعمل بالانزلاق فعالة في تخفيض القوى الناجمة عن الزلازل بشكل كبير، كما أظهرت الدراسة فعالية كلا العازلين في تخفيض التسارعات الطابقية بشكل كبير نسبياً.

في هذه الفقرة سوف نركز الدراسة على عوامل (parameters) عازل النواس الاحتكاكي الذي يتميز بسهولة تنفيذه وآلية عمله البسيطة التي تعتمد على الجاذبية في إعادة المنشأ لوضعه الأصلي بعد زوال الحدث الزلزالي (عمل النواس).

عند تصميم عازل FPS يلزمنا تحديد عاملين أساسيين هما دور العزل T (أو يمكن القول نصف قطر التقعر للعازل) و معامل الاحتكاك لسطح الانزلاق μ . فمن أجل دراسة تأثير هذين العاملين على الاستجابة الزلزالية للأبنية المعزولة، قمنا باختيار نموذج المبنى السابق (G) الأشكال (5-1)، (5-2)، (5-3)، (5-4).

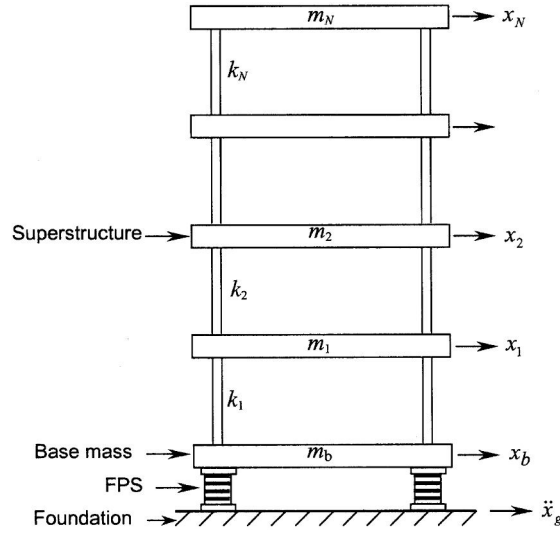
سندرس استجابة هذا النموذج المعزول زلزالياً بواسطة FPS تحت تأثير عدة حركات زلزالية، يبين الجدول (5-3) مقدار التسارع الأعظمي لهذه الحركات الزلزالية.

الجدول (5-3) التسارع الأعظمي للحركات الزلزالية

التسارع الأعظمي (g) وفق المحور Y	التسارع الأعظمي (g) وفق المحور X	الزلازل المحرض
0.604g	0.843g	1994 Northridge (Sylmar)
0.583g	0.589g	1994 Northridge (Newhall)
0.66g	0.589g	1992 Petrolia earthquake
0.409g	0.442g	1989 Loma-prieta (Lexington Dam)
0.564g	0.616g	Average

تعتبر مقادير الاستجابة الأساسية اللازمة لتقييم أداء منشأ معزول كالتالي [13]:

1- التسارع المطلق لأعلى طابق $\ddot{x}_a = \ddot{x}_N + \ddot{x}_b + \ddot{x}_g$ الذي يتناسب بشكل مباشر مع القوى المطبقة على المنشأ العلوي والناجمة عن الزلازل. حيث \ddot{x}_N التسارع النسبي لأعلى طابق بالنسبة للقاعدة، \ddot{x}_b التسارع النسبي للقاعدة بالنسبة للأرض، \ddot{x}_g تسارع الزلازل المحرض. يبين الشكل (5-11) منشأ متعدد الطوابق معزول.



الشكل (5-11) منشأ متعدد الطوابق معزول بواسطة FPS

2- الانتقال القاعدي النسبي (انتقال العازل)، حيث أن تصميم العازل أي اختيار حجمه يعتمد مباشرة على قيمة الانتقال القاعدي النسبي.

5-3-1 - تأثير نصف قطر التقعر للعازل:

The Effect of Radius of Curvature

إن دور نظام العزل (FPS) مستقل عن كتلة المنشأ W ويتعلق فقط بنصف قطر التقعر للعازل R كما يظهر بشكل واضح في العلاقة الآتية [10,27]:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

أي يمكن للمصمم التحكم بدور العزل من خلال اختيار نصف قطر التقعر للعازل فقط. يتم الحصول على الصلابة الفعالة الكلية لنظام العزل من الصيغة (2-30):

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \mu \frac{W}{D}$$

والصلابة الأولية K_1 من العلاقة (2-31) حيث اعتبرنا أن معامل الاحتكاك $\mu=0.07$ والانتقال اللدن

$$D_y = \frac{Q}{(K_1 - K_2)} = \frac{\mu W}{(K_1 - K_2)} \quad \cdot D_y = 2.5 \text{mm}$$

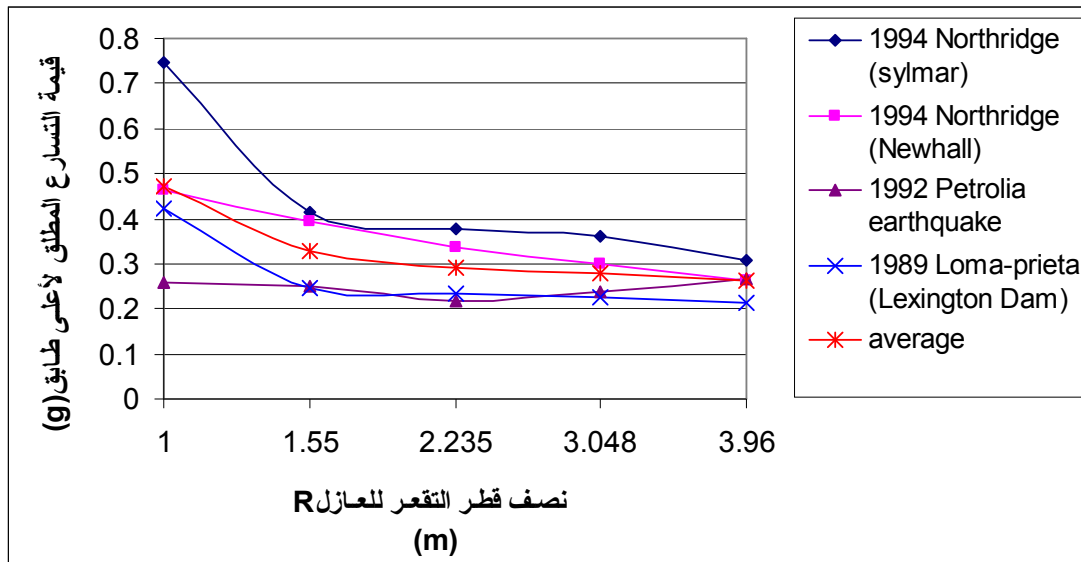
تحسب صلابة ما بعد الخضوع K_2 من العلاقة (2-28):

$$K_2 = \frac{W}{R}$$

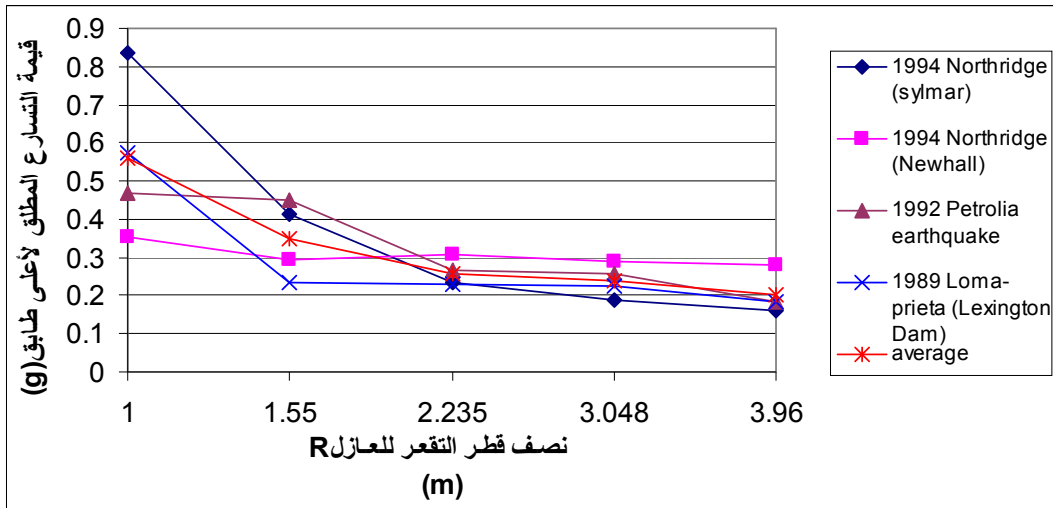
الجدول (5-4) يبيّن خصائص نظام النواس الاحتكاكي تبعاً لتغير نصف قطر التقرع للعازل
(W=4931.5 ton, $\mu=0.07$)

الصلابة الأولية الكلية لنظام العزل K_1 العلاقة (2-31) ton/m	الصلابة الفعالة الكلية لنظام العزل العلاقة (2-30) ton/m	صلابة ما بعد الخضوع $K_2 = \frac{W}{R}$	دور نظام العزل T_D (sec)	الانتقال التصميمي $D = \frac{R}{5}$	نصف قطر التقرع للعازل R(m)
143013.5	6657.525	4931.5	2	0.2	1
141263.613	4295.177	3181.613	2.5	0.31	1.55
140288.488	2978.758	2206.488	3	0.447	2.235
139699.946	2184.227	1617.946	3.5	0.6068	3.048
139326.7	1680.345	1244.7	4	0.7924	3.962

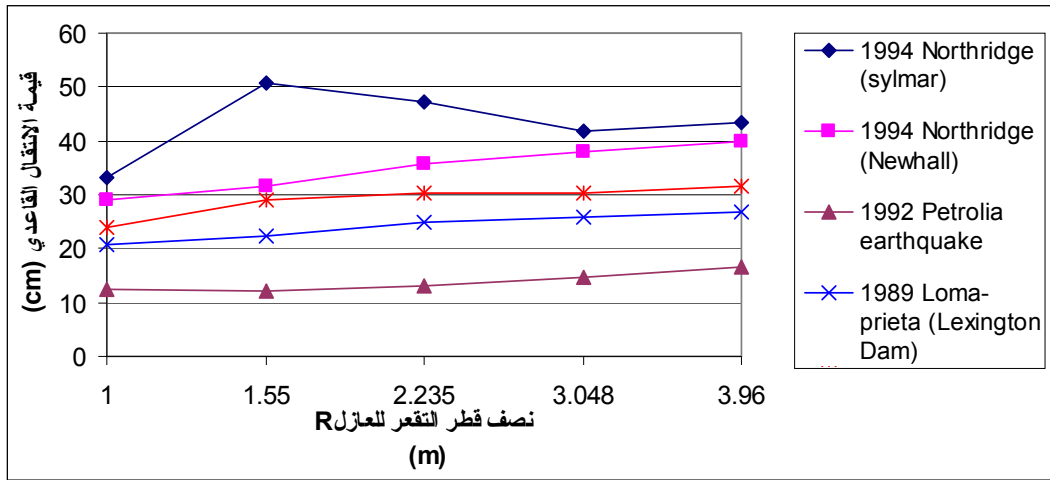
تبيّن الأشكال (5-12), (5-13), (5-14), (5-15) التغير في قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق والتغير في قيمة الانتقال القاعدي للنموذج المدروس تحت تأثير الحركات الزلزالية الموصوفة في الجدول (5-3).



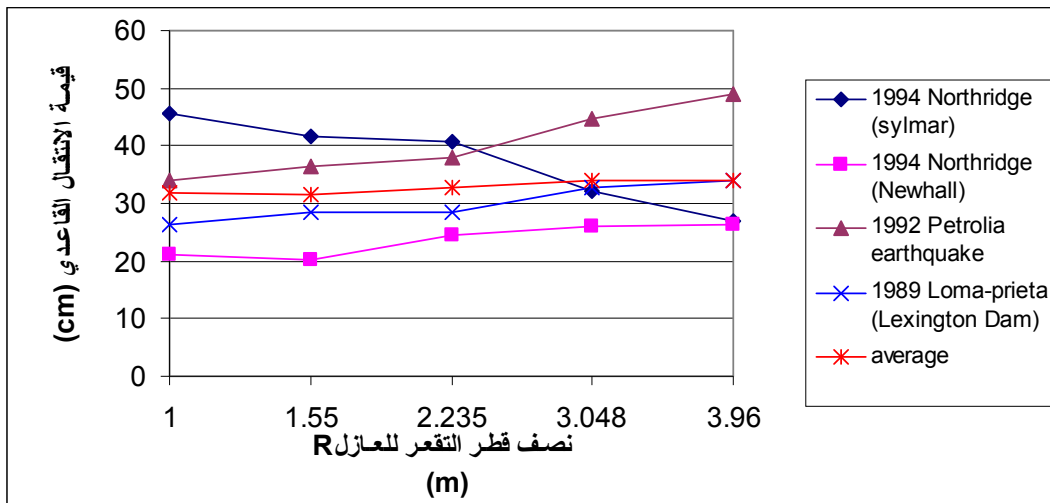
الشكل (5-12) تغير قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور X
تبعاً للتغير في قيمة نصف قطر التقرع للعازل



الشكل (5-13) تغير قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور Y تبعاً للتغير في قيمة نصف قطر التفرع للعازل



الشكل (5-14) تغير قيمة الانتقال القاعدي وفق المحور X تبعاً للتغير في قيمة نصف قطر التفرع للعازل

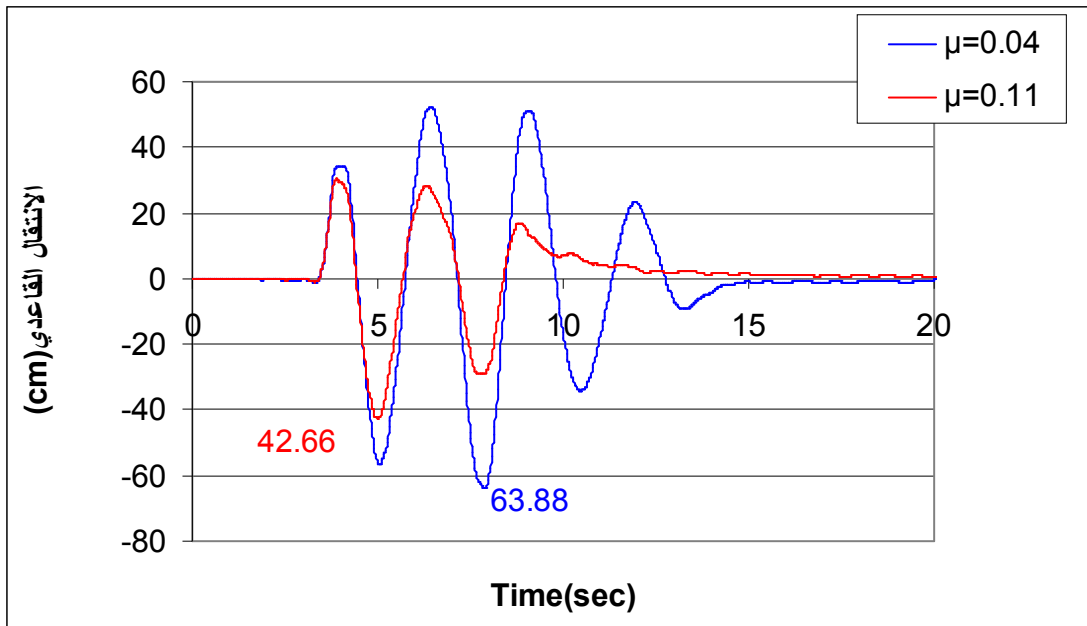


الشكل (5-15) تغير قيمة الانتقال القاعدي وفق المحور Y تبعاً للتغير في قيمة نصف قطر التفرع للعازل

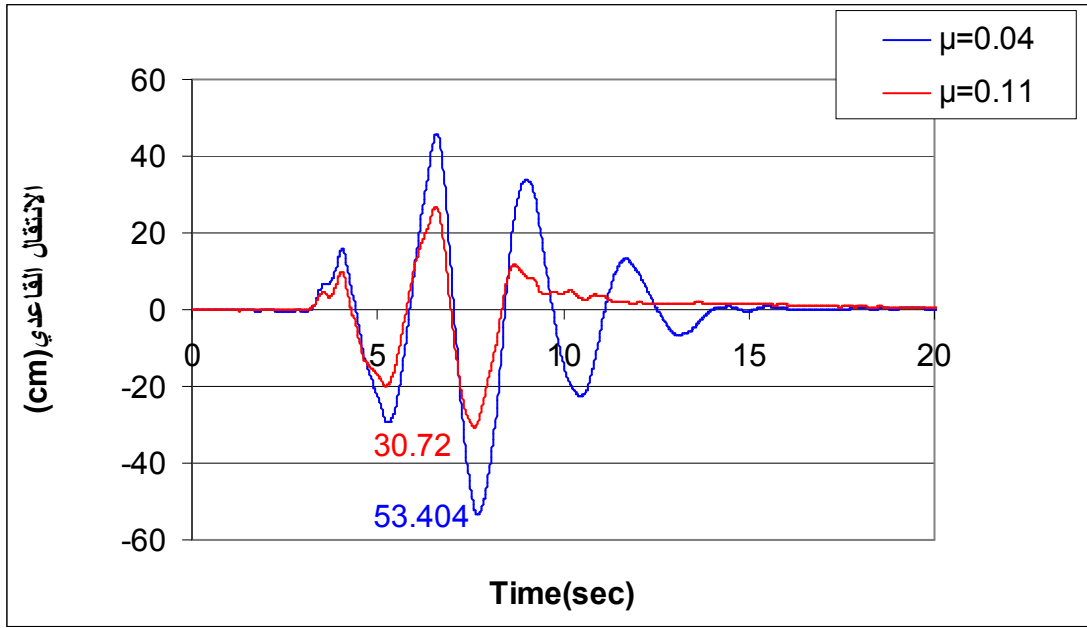
يبدو من الأشكال السابقة أنّ قيم التسارع المطلق لأعلى طابق تتناقص مع زيادة نصف قطر الانزلاق للعازل، بينما يتزايد الانتقال القاعدي مع زيادة نصف قطر التقعر للعازل أي مع زيادة دور العزل (زيادة مرونة العازل).

5-3-2- تأثير معامل الاحتكاك μ : The effect of friction coefficient

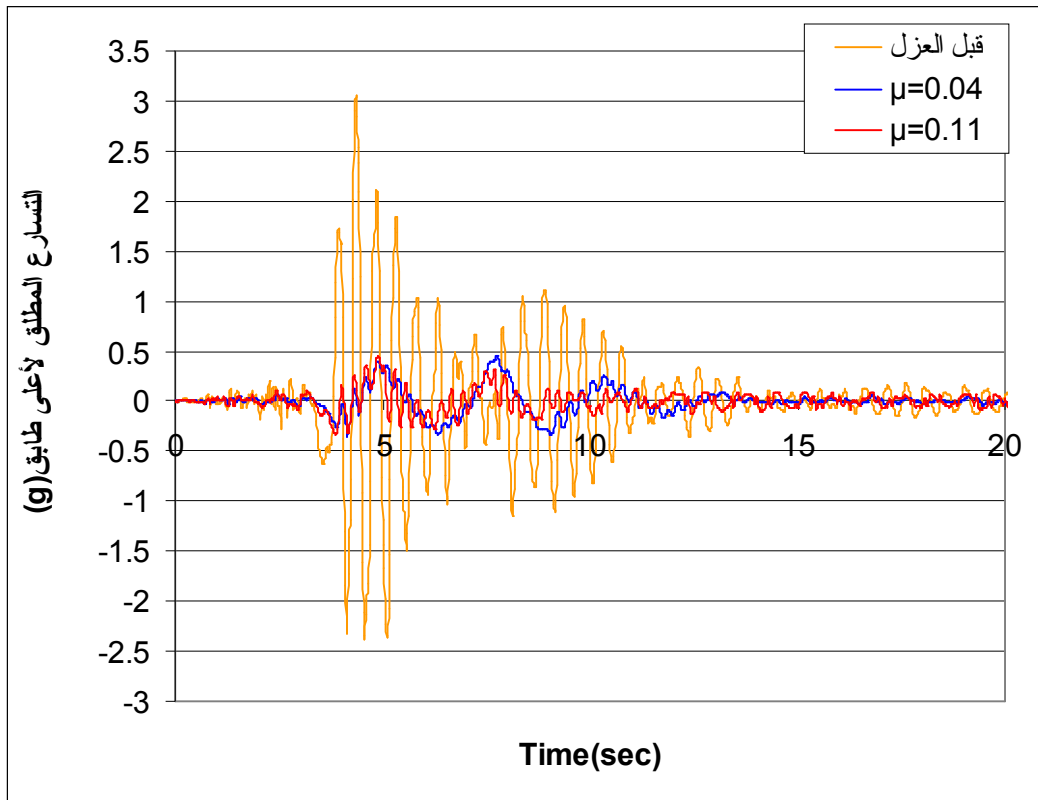
يبين الشكلان (5-17) ، (5-16) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق وكذلك السجل الزمني للانتقال القاعدي في النموذج G تحت تأثير زلزال نورثريدج (Sylmar Northridge Station) وذلك من أجل معاملي الاحتكاك $\mu=0.04$, $\mu=0.11$ ودور عزل $T_D=2.5$ sec.



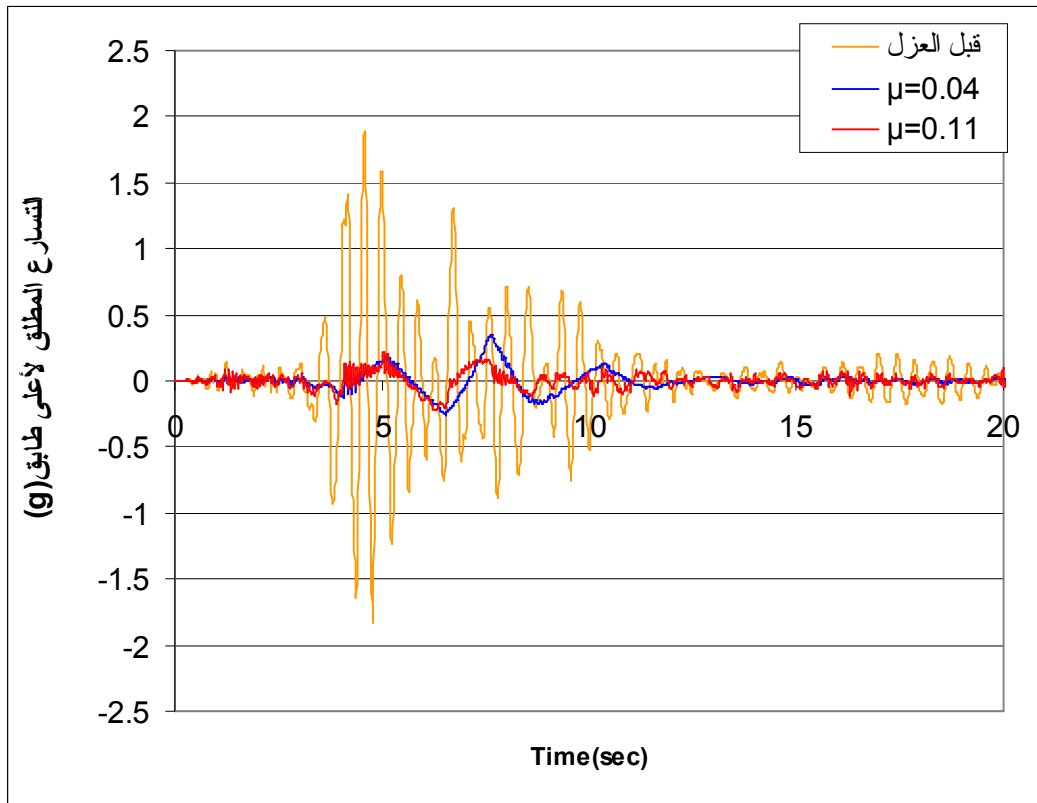
الشكل (5-16) السجل الزمني للانتقال القاعدي وفق المحور X للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج (Sylmar Station)



الشكل (5-17) السجل الزمني للانتقال القاعدي وفق المحور Y للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج (Sylmar Station)



الشكل (5-18) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور X للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج (Sylmar Station)

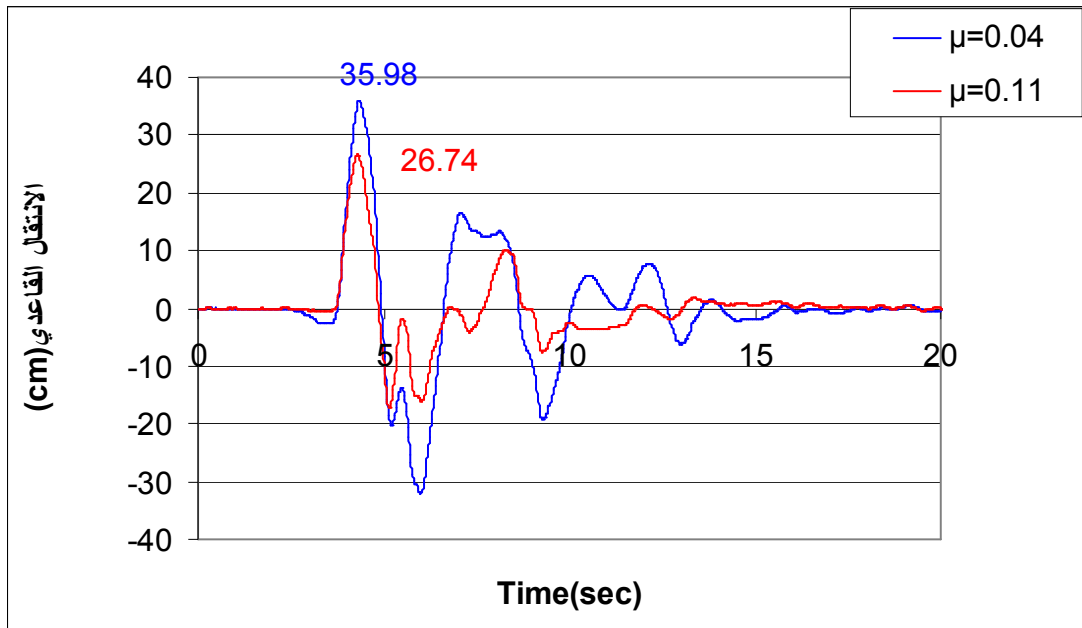


الشكل (5-19) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور Y للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج (Sylmar Station)

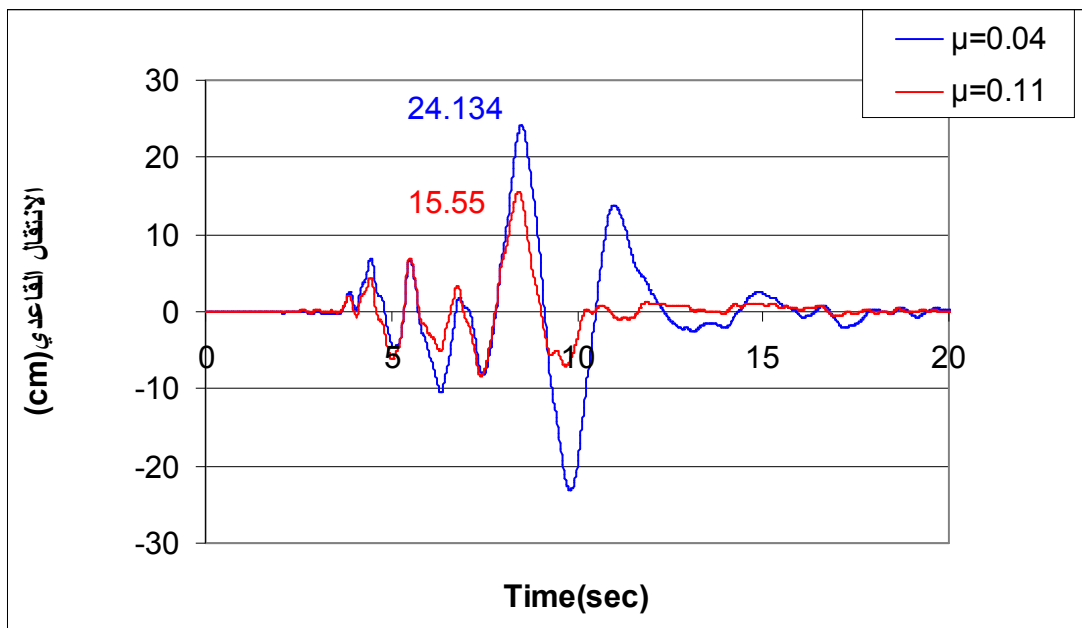
تظهر الأشكال السابقة أن هناك تخفيضاً لقيمة التسارع المطلق لأعلى طابق في النموذج المدروس من أجل كل من قيم الاحتكاك التي تم اختيارها. ولكن هناك اختلاف واضح في قيمة الانتقال القاعدي، إذ نلاحظ انخفاض قيمة الانتقال القاعدي من 63.88cm الموافقة لقيمة احتكاك $\mu=0.04$ إلى 42.66 الموافقة لقيمة معامل الاحتكاك $\mu=0.11$ وذلك وفق المحور X. وكذلك الأمر بالنسبة للمحور Y إذ انخفضت قيمة الانتقال من 53.404cm الموافقة لقيمة الاحتكاك $\mu=0.04$ إلى 30.72 الموافقة لمعامل الاحتكاك $\mu=0.11$.

إذاً إن زيادة معامل الاحتكاك للـ FPS ، وخصوصاً في الأماكن التي تتميز بشدات زلزالية عالية، يمكن أن تخفض قيمة الانتقال القاعدي النسبي بشكل كبير وبدون أن يؤدي ذلك إلى تغيير في القيم العظمى للتسارع في المنشأ العلوي.

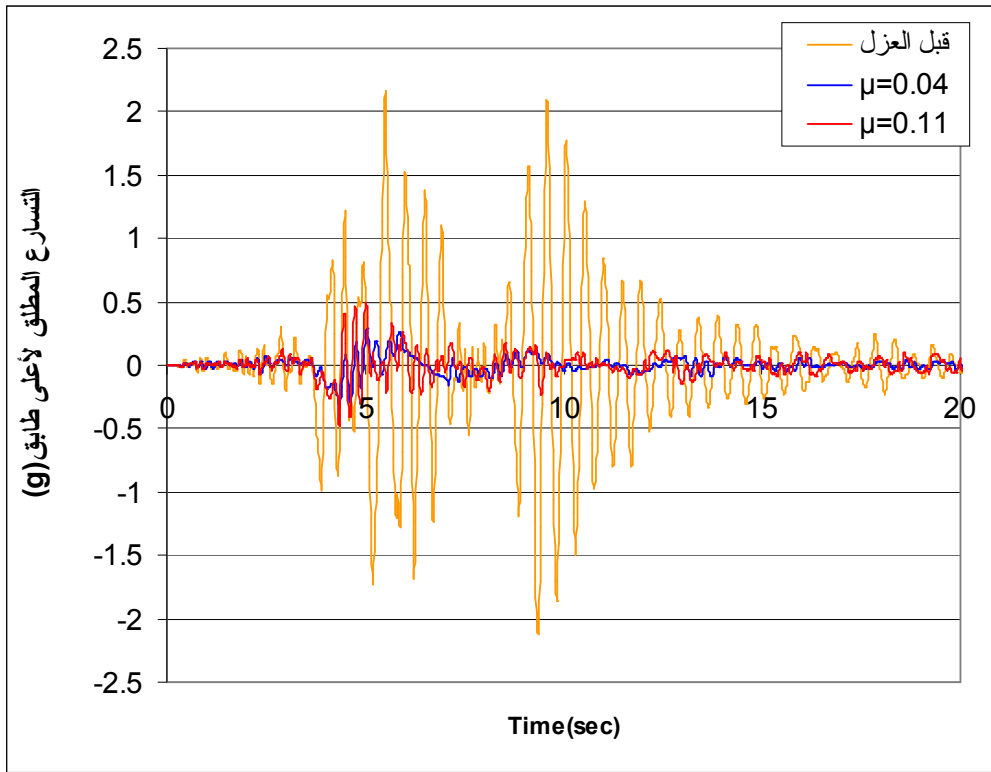
يمكن ملاحظة ذات الشيء بالنسبة لاستجابة النموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج (Newhall) Northridge، الذي يظهر في الشكلين (5-20),(5-21),(5-22),(5-23).



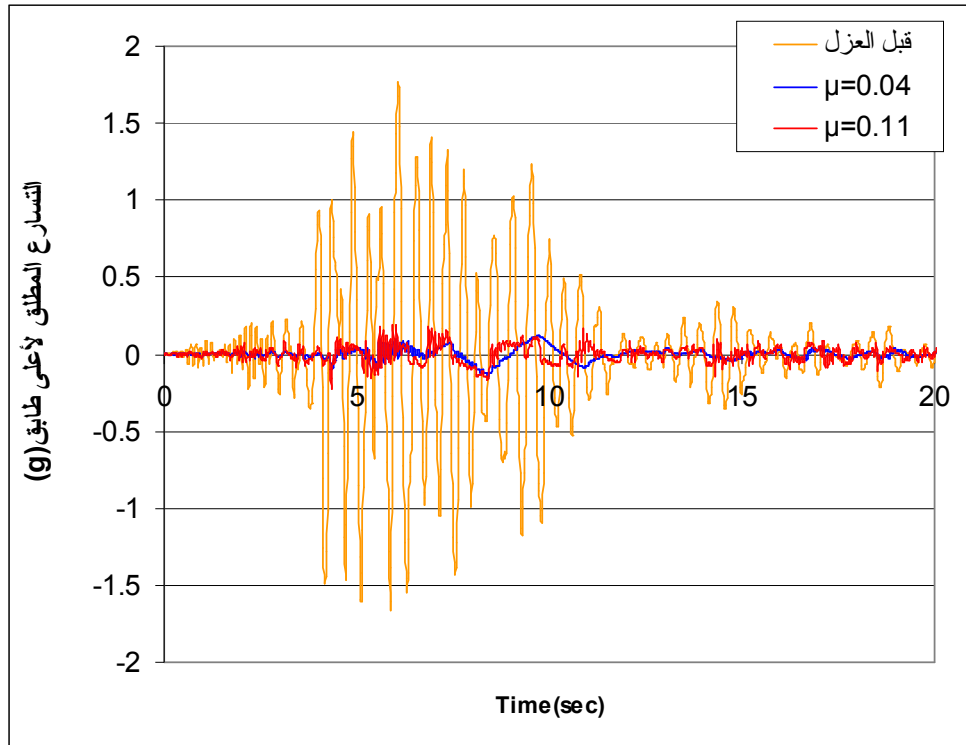
الشكل (5-20) السجل الزمني للانتقال القاعدي وفق المحور X تحت تأثير زلزال نورثريدج، (Newhall)



الشكل (5-21) السجل الزمني للانتقال القاعدي وفق المحور Y تحت تأثير زلزال نورثريدج، (Newhall)



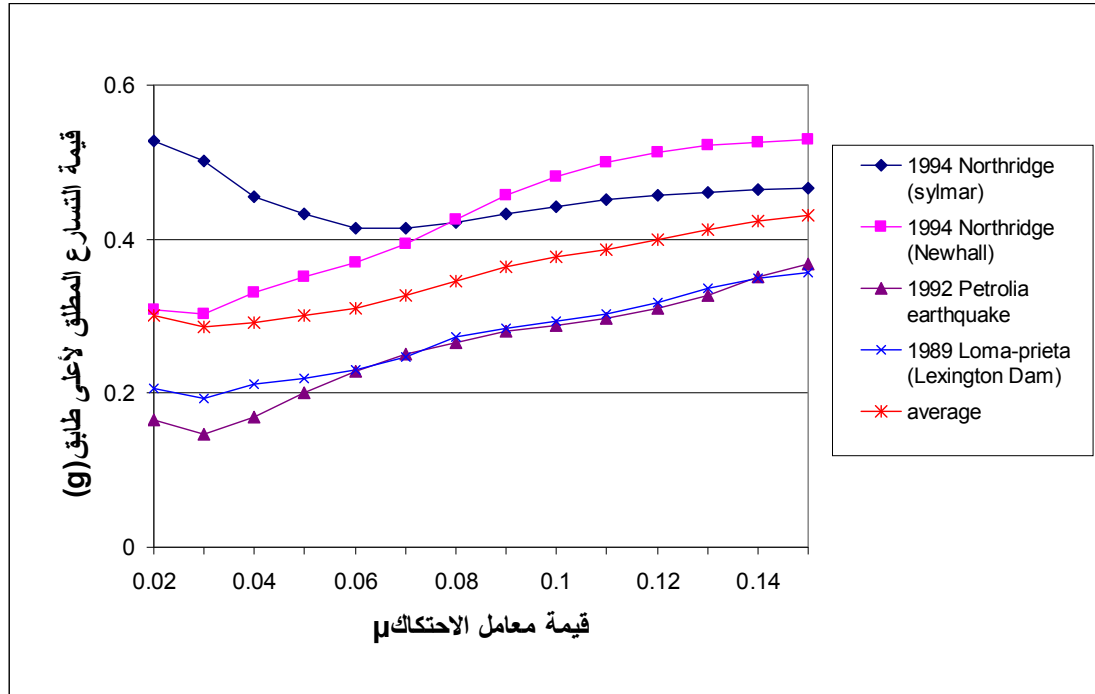
الشكل (5-22) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور X تحت تأثير زلزال نورثريدج، (Newhall)



الشكل (5-23) السجل الزمني للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور Y للنموذج المدروس تحت تأثير زلزال نورثريدج، (Newhall)

من دراسة الأشكال السابقة يمكن القول:

عند زيادة معامل الاحتكاك فإنه من الممكن تخفيض القيمة العظمى للانتقال القاعدي بشكل كبير مع المحافظة على الفوائد المرجوة من العزل الزلزالي في تخفيض التسارعات الطابقية. يظهر الشكلان (5-22)، (5-23) أن التسارع المطلق لأعلى طابق في المبنى المعزول يتميز بتردد عالٍ والذي من الممكن أن يؤثر بشكل سيئ جداً على الأجهزة الحساسة ذات التردد العالي التي قد يحتويها المبنى. وبالتالي فإن أنظمة العزل التي تعمل بالانزلاق من الممكن أن لا تكون مناسبة للأبنية التي تحوي تجهيزات أو أنظمة ذات تردد عالٍ. يمثل الشكل التالي (5-24) التغيير في قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق والانتقال القاعدي تبعاً لتغيير قيمة معامل الاحتكاك ($\mu=0.02\sim 0.15$)، تحت تأثير الحركات الزلزالية المذكورة في الجدول السابق (5-3).



الشكل (5-24) تغيير قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور X تبعاً للتغيير في قيمة معامل الاحتكاك

نلاحظ من الشكل (5-24) أن التسارع المطلق لأعلى طابق يتناقص أولاً حتى يصل لقيمة صغيرة، ومن ثم يعود ليتزايد مع زيادة معامل الاحتكاك، وهذا يدل على وجود قيمة معينة لمعامل الاحتكاك تكون من أجلها قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق أصغر، ويعود السبب في تناقص التسارع المطلق لأعلى طابق ثم زيادته لاحقاً إلى التغيير في قيمة القوة الموجودة في العازل من أجل قيم احتكاك مختلفة، وهذا يتوافق مع ما ورد في المرجع [13]. ذكرنا في الفصل الثاني أن القوة الكلية في العازل تعطى بالعلاقة (2-9):

$$(F = F_f + F_r = \mu W + \frac{W}{R} x_b)$$

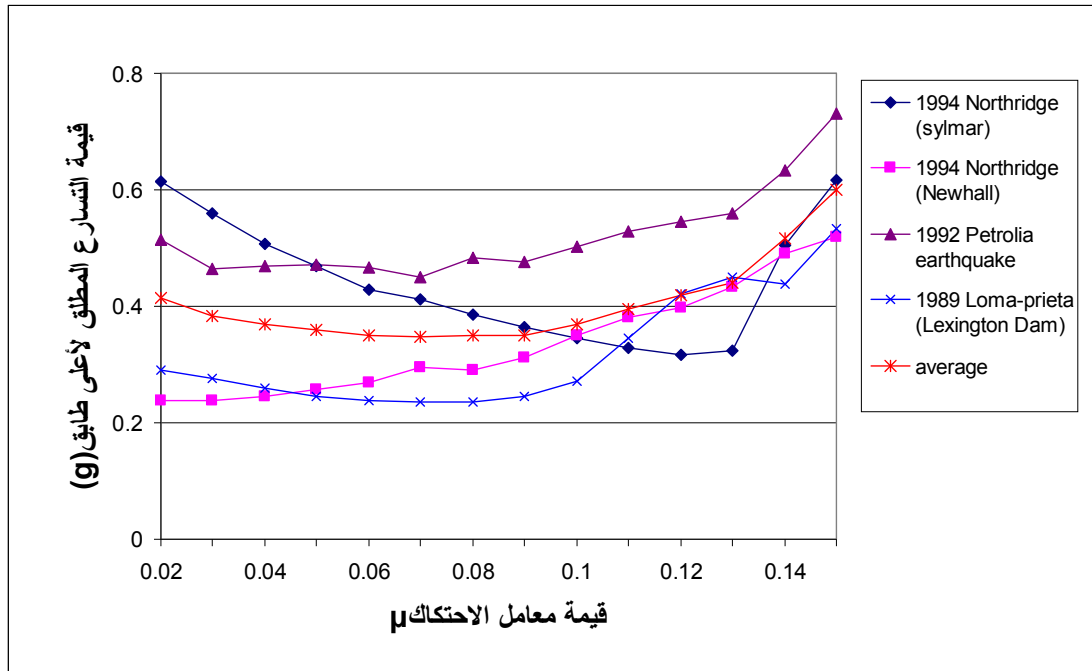
فمن أجل معاملات احتكاك كبيرة تكون الزيادة في القوة عائدة لقوة الاحتكاك الكبيرة (انتقالات

$$F_f = \mu W \quad \text{(صغيرة)}$$

ومن أجل معاملات الاحتكاك الصغيرة فإنّ الزيادة في القوة تعود لقوة الإرجاع الكبيرة (انتقالات

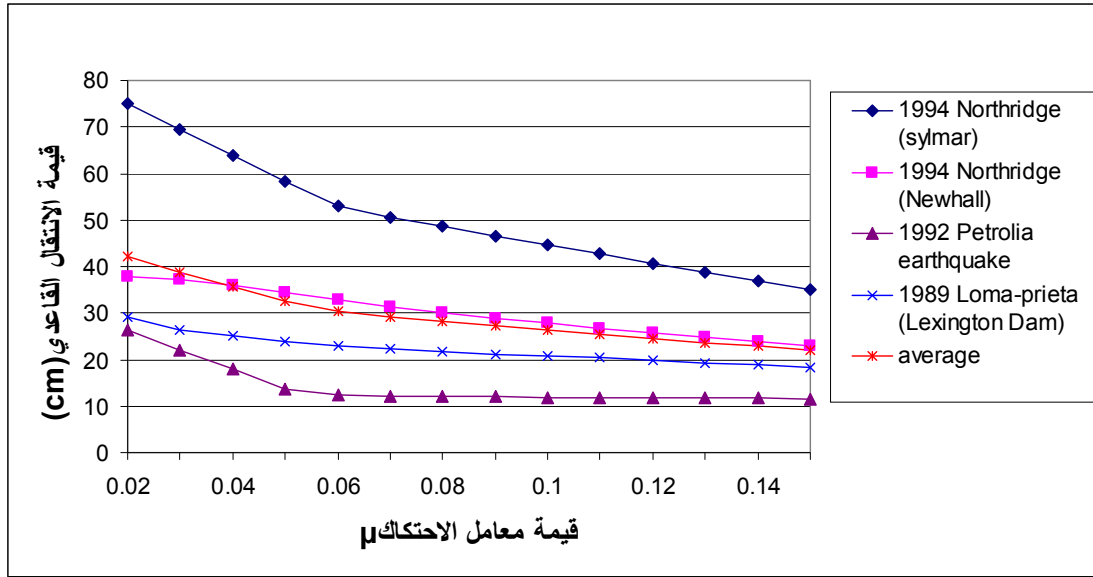
$$F_r = \frac{W}{R} x_b \quad \text{(كبيرة)}$$

بملاحظة التغير في معدل قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق، نجد أنّ قيمة معامل الاحتكاك الموافقة للتسارع الأصغري من أجل هذا النموذج تساوي 0.03 وفق المحور X الشكل (5-24) و0.07 وفق المحور Y الشكل (5-25).

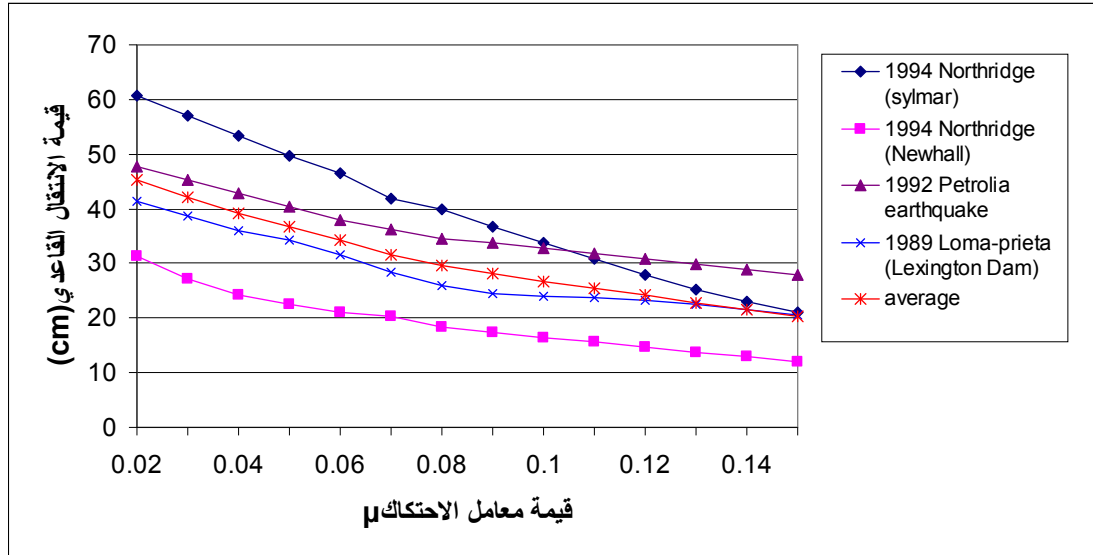


الشكل (5-25) تغير قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق وفق المحور Y تبعاً للتغير في قيمة معامل الاحتكاك

إنّ تغير معدل قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق لا تتأثر بشكل كبير بتغير معامل الاحتكاك حتى بلوغه القيمة $\mu=0.12$. بينما نلاحظ استمرار الانخفاض في معدل الانتقال القاعدي مع زيادة معامل الاحتكاك للـ FPS كما يظهر في الشكل (5-27), (5-26). وهذا مفيد عند التصميم الأمثل للعازل FPS إذ يمكن تخفيض الانتقال القاعدي بشكل كبير دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة لقيمة التسارع المطلق لأعلى طابق.



الشكل (5-26) تغير قيمة الانتقال القاعدي وفق المحور X تبعاً للتغير في قيمة معامل الاحتكاك



الشكل (5-27) تغير قيمة الانتقال القاعدي وفق المحور Y تبعاً للتغير في قيمة معامل الاحتكاك

استناداً إلى النتائج والمنحنيات السابقة يمكن استنتاج مايلي:

✍ إن زيادة معامل الاحتكاك لعازل الـFPS تؤدي إلى تخفيض كبير نسبياً لقيمة الانتقال القاعدي (وبالتالي تصغير حجم العازل) دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة لقيم التسارع في المنشأ العلوي.

✍ قيمة معامل الاحتكاك التي تكون من أجلها قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق أصغر هي 0.03 وفق المحور X و 0.07 وفق المحور Y.

✍ إن قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق لا تتأثر بشكل كبير بتغير معامل الاحتكاك وذلك في جوار قيمة معامل الاحتكاك الأصغر، وبالتالي يمكن الاستفادة من هذا السلوك في تصميم عازل الـFPS بشكل أمثل تحت تأثير الحركات الزلزالية.

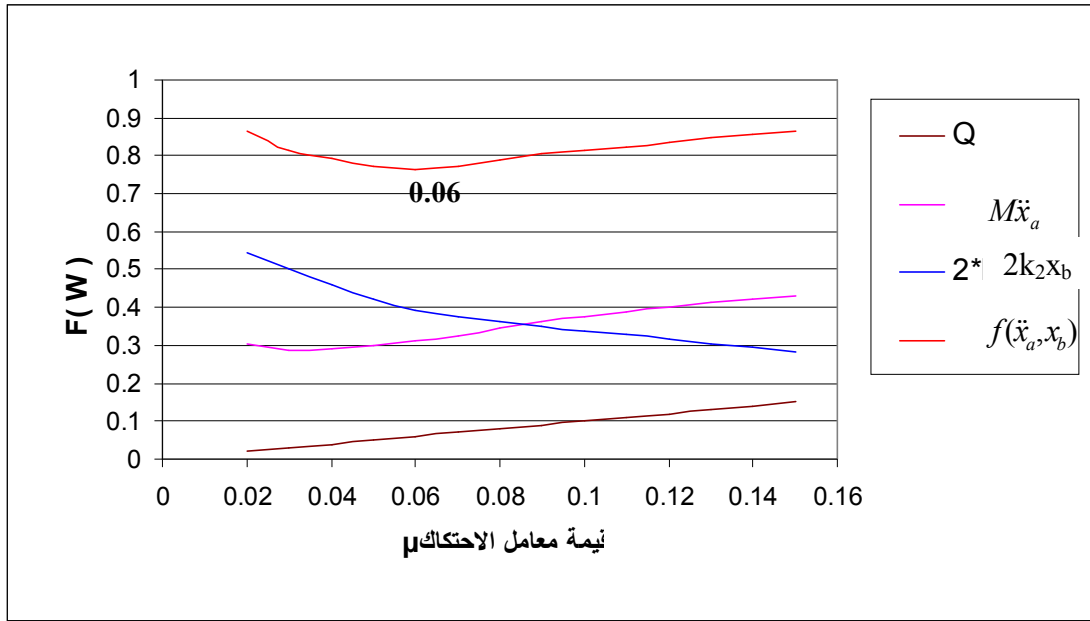
5-3-3-إيجاد قيمة معامل الاحتكاك المثلى:

Finding The Optimum Friction Coefficient value

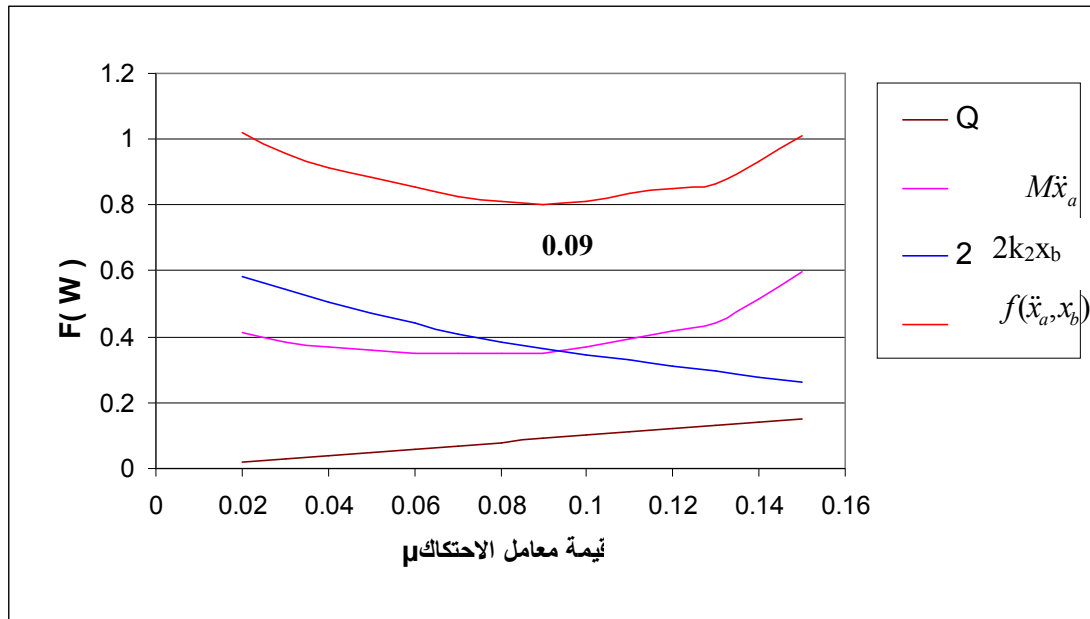
من أجل تحقيق الحد الأعظمي للعزل الموافق لأصغر انتقال قاعدي، ستكون قيمة معامل الاحتكاك أكبر بقليل من القيمة الموافقة للتسارع المطلق الأصغري. يمكن الحصول على معامل الاحتكاك الأمثل لعازل الـ FPS من خلال تصغير القوة المعرفة بالشكل [13]:

$$f(\ddot{x}_a, x_b) = Q + 2k_2x_b + M\ddot{x}_a \quad (5-1)$$

حيث $f(\ddot{x}_a, x_b)$ تابع القوة المنتقى من أجل معامل احتكاك أمثل لعازل الـ FPS ، ويتعلق بالتسارع المطلق لأعلى طابق، بالانتقال القاعدي وبقوة الاحتكاك في عازل الـ FPS. يشير الحد $M\ddot{x}_a$ إلى القوة الخارجية المطبقة على المنشأ العلوي والناجمة عن التحريض الزلزالي. ويبدل العامل 2 ضمناً إلى أن الوزن الذي ساهم في تخفيض الانتقال القاعدي أكبر نسبياً عند مقارنته مع الوزن الذي ساهم في تخفيض قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق. وهذا يعود إلى أن القوة الأعظمية الموجودة في العازل مساوية لقوة الزلزال العظمى والمطبقة على المنشأ العلوي: $Q + k_2x_b \approx M\ddot{x}_a$. فإذا لم يتم استخدام المعامل 2 في المعادلة (5-1) سيكون $f(\ddot{x}_a, x_b)$ أصغري عندما تكون قيمة التسارع المطلق لأعلى طابق أصغرية. تم اختيار المعامل 2 من خلال الاختبار والمقارنة مع المعيار الذي يشترط أن لا تزداد قيمة التسارع المطلق بشكل كبير مع انخفاض الانتقال القاعدي تحت تأثير الحركات الزلزالية المعتبرة. يبين الشكل (5-28) التغير في حدود المعادلة (5-1) بالعلاقة مع معامل الاحتكاك لعازل الـ FPS وذلك لحالة النموذج G.



الشكل (5-28) تغير التابع $f(\ddot{x}_a, x_b)$ ومختلف حدود العلاقة (5-1) تبعاً لتغير قيمة معامل الاحتكاك μ وذلك وفق المحور X ($T_D=2.5\text{sec}$, $\xi_s = 0.02$)



الشكل (5-29) تغير التابع $f(\ddot{x}_a, x_b)$ ومختلف حدود العلاقة (5-1) تبعاً لتغير قيمة معامل الاحتكاك μ وذلك وفق المحور Y ($T_D=2.5\text{sec}$, $\xi_s = 0.02$)

نلاحظ من الأشكال (5-28), (5-29) أن التابع $f(\ddot{x}_a, x_b)$ يصل لقيمة صغرى من أجل قيمة لمعامل الاحتكاك والتي يشار إليها بقيمة معامل الاحتكاك المثلى (optimum friction coefficient). في مثالنا هذا نلاحظ أن القيمة المثلى هي $\mu_{op}=0.06$ وفق المحور X وهي قيمة أكبر من القيمة $\mu_x=0.03$ الموافقة لقيمة أصغرىة للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق هذا

المحور، كما أن القيمة المثلى هي $\mu_{op}=0.09$ وفق المحور Y وهي قيمة أكبر من القيمة $\mu_y=0.07$ الموافقة لقيمة أصغرية للتسارع المطلق لأعلى طابق وفق هذا المحور. فمثلاً من أجل قيم معامل الاحتكاك 0.03 ، 0.06 كانت قيم الانتقال وفق المحور X 38.75cm ، 30.33cm وقيم التسارع المطلق لأعلى طابق 0.286g، 0.311g على الترتيب. أي أن زيادة معامل الاحتكاك ما بعد القيمة الموافقة للتسارع المطلق الأصغري قد خفضت قيمة الانتقال القاعدي بشكل ملحوظ مع زيادة طفيفة لقيم التسارع للمنشأ العلوي.

4-5- معايرة قوى القص القاعدي وقيم الانتقالات للنموذج المعزول G وفقاً للكود IBC2000 مع الأخذ بالاعتبار نماذج الترب المعتمدة في الكود العربي السوري.

Scaling Shear forces and design displacement of base - isolated model G according to IBC2000 code considering soil types mentioned in Syrian Arabian Code:

في هذه الفقرة سنناقش المعايرة (Scaling) التي تمت الإشارة إليها في الفصل الثاني وذلك حسب IBC2000. سنقوم بدراسة نتائج تحليل المبنى المعزول G الذي تم وصفه في الفقرة (2-5). لقد تم التحليل باستخدام طريقة السجل الزمني ومعايرة النتائج من أجل كافة أنواع الترب التي وردت في الكود العربي السوري (S_A, S_B, S_C, S_D, S_E).

• تقييم الانتقال الجانبي التصميمي وفق IBC2000:

Minimum Lateral Earthquake Displacement D_D According to IBC2000:

يعطى الانتقال الجانبي التصميمي وفق IBC2000 بالعلاقة (2-37):

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \frac{S_{D1} T_D}{B_D}$$

بافتراض نسبة تخامد 15% نحصل على المعامل B_D من الجدول (2-1) $B_D=1.35$

إن العامل S_{D1} تسارع الاستجابة الطيفي التصميمي الموافق لدور 1sec.

بافتراض المنطقة الزلزالية الثالثة ونوع التربة S_D تكون قيمة العامل $S_{D1}=0.54g$ (من طيف الاستجابة التصميمي في ملحق الكود العربي السوري)، كما نفرض دور العزل من أجل مستوى الزلزال التصميمي $T_D=2.5sec$ وبالتالي نحصل على قيمة الانتقال التصميمي الأصغري $D_D=0.25m$.

• تصميم عازل النواس الاحتكاكي (FPS):

باعتبار دور العزل $T_D=2.5sec$ فيكون نصف قطر التفرع للعازل بالاعتماد على العلاقة (2-12) يساوي $R=1.55m$.

نفرض معامل احتكاك $\mu=0.06$ وانتقال جانبي تصميمي $D_D=30\text{cm}$ وذلك على اعتبار أنه يحقق الحدود الدنيا المطلوبة بالنسبة للانتقال التصميمي ويعطي تخامد $\beta_{eff} = 15\%$ وذلك وفق العلاقة [27]:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D_D/R} = \frac{2}{\pi} \frac{0.06}{0.06 + 0.3/1.55} = 0.15$$

نحسب الصلابة الفعالة الكلية لنظام العزل:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \mu \frac{W}{D_D} = \frac{4931.5}{1.55} + 0.06 \frac{4931.5}{0.3} = 4167.93 \text{ ton / m}$$

سندرس استجابة هذا النموذج المعزول زلزالياً بواسطة FPS تحت تأثير سبع سجلات زمنية لحركات زلزالية حقيقية. إذ يبين الجدول (5-5) مقدار التسارع الأعظمي لهذه الحركات الزلزالية.

الجدول (5-5) التسارع الأعظمي للحركات الزلزالية

التسارع الأعظمي (g) وفق المحور Y	التسارع الأعظمي (g) وفق المحور X	الزلازل المحرض
0.604g	0.843g	1994 Northridge (Sylmar)
0.583g	0.589g	1994 Northridge (Newhall)
0.66g	0.589g	1992 Petrolia earthquake
0.409g	0.442g	1989 Loma-prieta (Lexington Dam)
0.243g	0.191g	Loma-prieta
0.256g	0.222g	Los-Angeles
0.703g	0.681g	Lucerne Valley

يبين الجدول (5-6) نتائج تحليل المبنى تحت تأثير السجلات الزمنية للزلازل التي تم وصفها في الجدول السابق.

الجدول (5-6) نتائج تحليل المبنى تحت تأثير السجلات الزمنية للزلازل

الانتقال (cm) وفق المحور Y	الانتقال (cm) وفق المحور X	قوة القص (ton) وفق المحور y (V _y)	قوة القص (ton) وفق المحور x (V _x)	الزلازل المحرض
58.42	54	2458	2518	1994 Northridge (Sylmar)
35.98	35.58	1277	1289	1994 Northridge (Newhall)
38.52	13.18	1229	652.7	1992 Petrolia earthquake
30.36	22.01	822.3	736.2	1989 Loma-prieta (Lexington Dam)

9.11	5.4	412.5	342.6	Loma-prieta
------	-----	-------	-------	-------------

تابع للجدول (5-6)

الانتقال (cm) وفق المحور Y	الانتقال (cm) وفق المحور X	قوة القص (ton) وفق المحور y (V _y)	قوة القص (ton) وفق المحور x (V _x)	الزلازل المحرض
4.73	6.63	409.5	369.3	Los-Angeles
9.47	10.19	526.3	486.2	Lucerne Valley
26.65571	20.99857	1019.229	913.4286	المعدل

نقوم بمعايرة النتائج من أجل جميع أنواع الترب (S_A, S_B, S_C, S_D, S_E).

1- نلاحظ أن قيمة القص التصميمية العظمى (V_y = 1019.229 ton) لا تقل عن 80% من قوة القص التي تم حسابها وفق العلاقة (2-43).

$$V_y = 1019.23 > (0.8D_D * K_2 = 0.8 * D_D * \frac{W}{R} = 0.8 * 0.3 * \frac{4931.5}{1.55} = 763.58)$$

2- يجب أن لا تقل قيمة الانتقال التصميمية عن 90% من قيمة الانتقال D'_{TD} حسب العلاقة (2-40) وذلك بعد تعويض D_D بـ D'_D .

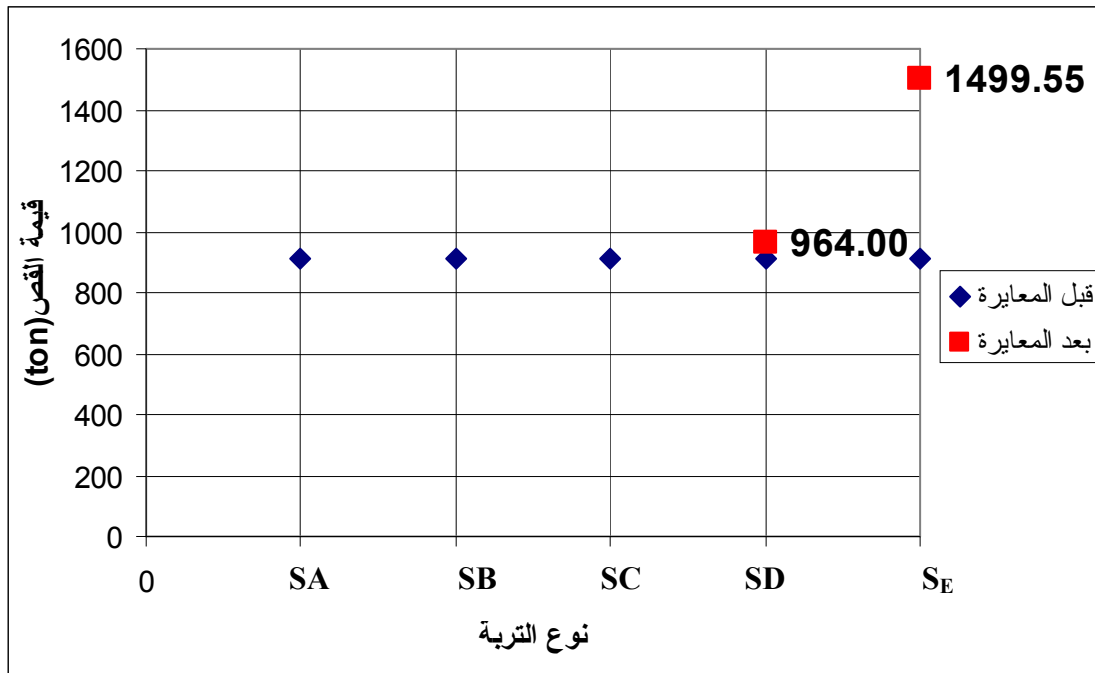
يبين الجدول (5-8) قيم عامل المعايرة مع الأخذ بالاعتبار نماذج الترب المعتمدة في الكود العربي السوري.

الجدول (5-8) حساب عامل المعايرة وفقاً للكود IBC2000 مع الأخذ بالاعتبار نماذج الترب المعتمدة في

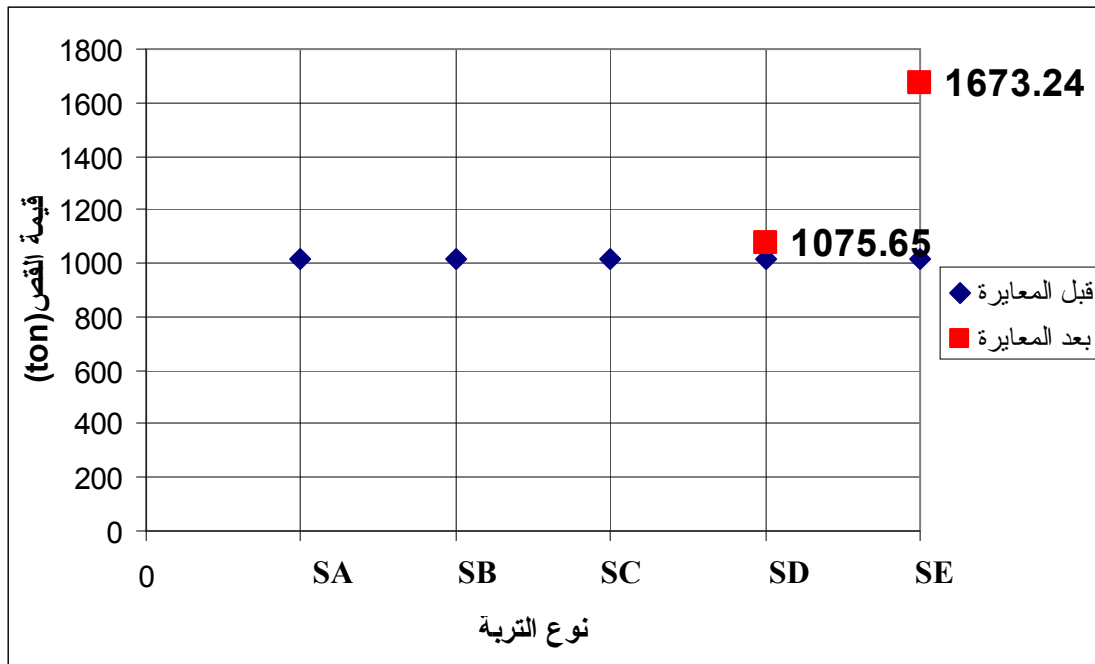
الكود العربي السوري

عامل المعايرة	D analysis (التحليل الديناميكي)	0.9*D' _{TD} العلاقة (2-40)	D' _D العلاقة (2-41)	D _D العلاقة (2-37)	S _{DI}	نوع التربة
لا تحتاج لمعايرة	26.656	12.503	0.107	0.111	0.24	S _A
لا تحتاج لمعايرة	26.656	15.629	0.134	0.138	0.3	S _B
لا تحتاج لمعايرة	26.656	23.443	0.201	0.207	0.45	S _C
1.055	26.656	28.131	0.241	0.248	0.54	S _D
1.642	26.656	43.76	0.375	0.387	0.84	S _E

يبين الشكلين (5-30)(5-31) قيمة القص القاعدي وفق المحور X و Y تبعاً لنوع التربة قبل المعايرة وبعدها.



الشكل (5-30) قيمة القص القاعدي وفق المحور X تبعاً لنوع التربة قبل المعايرة وبعدها



الشكل (5-31) قيمة القص القاعدي وفق المحور Y تبعاً لنوع التربة قبل المعايرة وبعدها

بملاحظة الشكلين السابقين يمكن القول أنه بالنسبة للترب S_A , S_B , S_C لا داعي للمعايرة وتزداد أهمية المعايرة كلما أصبحت الترب أقل تماسكاً.

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

Results and recommendations

1-6- النتائج: Results

1- إن زيادة المرونة الأفقية عند مستوي القاعدة (وضع نظام عزل) تؤدي إلى انخفاض كبير في قيم التسارعات الطابقية المطلقة الأعظمية للمبنى المعزول، وبالتالي انخفاض في قيم قوى العطالة، وبذلك سيكون المبنى والأجهزة التي قد يحتويها بمنأى عن ضرر التأثيرات الزلزالية.

2- تجلت فعالية نظامي العزل الزلزالي المستخدمين في الدراسة (النواس الاحتكاكي والكرات المعدنية) في تخفيض قيم قوى القص القاعدي، وهذا بدوره سينعكس على أمان أكبر للمبنى المعزول، إذ تراوحت نسب التخفيض بين 54~83.1% للنواس الاحتكاكي و 87 ~ 61.3% للكرات.

3- إن استخدام أنظمة العزل الزلزالي كإحدى أشكال الحماية الزلزالية ساهم في تخفيض الانتقالات النسبية، والذي يعتبر مقياساً لمدى فعالية العازل في تخفيض الأضرار التي قد تصيب العناصر الإنشائية وغير الإنشائية.

4- أعطى عازل النواس الاحتكاكي (FPS) قوة قص أكبر وتسارع أكبر ولكن انتقالات أقل في نماذج الأبنية المعزولة، وذلك مقارنة مع عازل الكرات المعدنية، حيث كانت قوة القص والتسارع أصغر ولكن الانتقالات كانت أكبر.

5- إن استخدام النموذج الخطي المكافئ لسلوك نظام العزل يعطي قيم تسارع أقل وقيم انتقال أعلى في نماذج الأبنية المعزولة مقارنة مع النموذج الثنائي الخطية، إذ يوجد اختلاف كبير في الحالتين المذكورتين بين مركبتي التسارع المطلق لأعلى طابق في المبنى.

6- أظهرت الدراسة أن زيادة الانتقال للندن للعازل تؤدي إلى زيادة في الانتقال القاعدي بينما تتناقص قيم التسارع المطلق لأعلى طابق في المنشأ المدروس.

- 7 - يبيّن البحث أنّ زيادة معامل الاحتكاك لعازل الـFPS تساهم في تخفيض كبير نسبياً في قيمة الانتقال القاعدي (وبالتالي تصغير حجم العازل) دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في قيم التسارع المطلق لأعلى طابق .
- 8- إن زيادة نصف قطر التقعر للعازل FPS تؤدي إلى زيادة طفيفة في قيم الانتقال القاعدي عند مستوي العزل.
- 9- إن قيمة معامل الاحتكاك للنموذج المدروس (G) باستخدام عازل FPS التي لأجلها يكون التسارع المطلق لأعلى طابق أصغري: 0.03 وفق المحور X و 0.07 وفق المحور Y.
- 10- بيّنت الدراسة أنّ القيمة المثلى لمعامل الاحتكاك تخفض قيمة الانتقال القاعدي بشكل ملحوظ دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في قيم التسارع المطلق لأعلى طابق.
- 11- تزداد أهمية إجراء معايرة لقيم القص القاعدي ولقيم الانتقال الناتجين من التحليل الديناميكي للمبنى المعزول كلما أصبحت تربة الموقع أقل تماسكاً.

6-2- التوصيات: recommendations

- 1- إدراج مفهوم العزل الزلزالي وأنظمة العزل المستخدمة عالمياً في ملحق للكود العربي السوري ليتسنى للمهندسين المصممين التعرف على هذه الأنظمة.
- 2- استخدام نظام العزل الزلزالي في المنشآت الحيوية والهامة وبعض المرافق العامة نظراً لفعاليتها الكبيرة في امتصاص الطاقة المتولدة عن الزلازل.
- 3- إمكانية تصنيع بعض أنظمة العزل محلياً بالتعاون مع الشركات العالمية الاختصاصية في هذا المجال.
- 4- توصي نتائج البحث بأن اختيار نظام العزل يحتاج لأن يؤخذ بالاعتبار خصوصية المبنى المعزول من حيث احتوائه على أجهزة حساسة إضافة إلى خصائصه الإنشائية والديناميكية.
- 5- يوصي البحث بإجراء دراسة دقيقة لخصائص تربة الموقع السجلات الزمنية المتوقعة الحدوث في المنطقة في حالة عدم توفرها قبل تطبيق نظام العزل على المبنى المدروس.
- 6- يوصي البحث بإعادة النظر في الدراسة التصميمية للأبنية المدروسة والمعزولة زلزالياً لبيان مدى التوفير الحاصل في مواد مقاطع العناصر الإنشائية الحاملة.

المراجع العلمية Scientific Reference

- [1]- السمارة. محمد أحمد، " أساسيات ديناميك المنشآت والهندسة الزلزالية " جامعة دمشق، 2006.
- [2] ايلوش. محمد نزيه، "أساسيات علوم الزلازل والهندسة الزلزالية"
- [3]- درويش. عماد، " الدليل التعليمي لبرنامج Etabs " 2006.
- [4]- ناصر. عصام، " ديناميك الإنشاءات " جامعة تشرين 2007.
- [5]- Almazan, J.L; Llera, J.CDL. "*Analytical Model Of Structures With Frictional Pendulum Isolators*". Journal of Earthquake engineering and structural dynamics U.S.A. Vol.31, N°. 2, 2002, 305-332
- [6]- Barroso, L. R." *Performance Evaluation Of Vibration Controlled Steel structures Under Seismic Loading*". March 2006.
< <http://ceprofs.tamu.edu/lbarroso/research/papers/THESIS.PDF>>.
- [7]- Buckle, IG; Mayes, RL. "*Seismic isolation: history, application and performance – a world view*". Earthquake Spectra 1990; 6:161–201.
- [8] -Caliò,I ; Marletta, M; Vinciprova, F." *Seismic response of multi-storey buildings base-isolated by friction devices with restoring properties*". Journal of computers and Structures U.S.A. Vol. 81, N°. 28, 2003, 2589–2599.
- [9]-Constantinou,M.C "*Experimental and Analytical Study of Seismically Isolated Structures with Uplift Prevention*" University at Buffalo.
- [10]- Earthquake Protection Systems (EPS), *Friction Pendulum Seismic Isolation Bearing*. <<http://www.earthquakeprotection.com>>.
- [11]-FEMA-451." *NEHRP Recommended Provisions*": Design Examples August 2006.
- [12]-FEMA-274." *Seismic Isolation and Energy Dissipation*", 1997.
- [13]- Jangid, R.S. "*Optimum friction pendulum system for near-fault motion*". Journal of Engineering Structures U.S.A.Vol.27, 2005, 349 – 359.
- [14]- Kaplan, H; Seireg, A. "*A computer controlled system for earthquake protection of structures*". International journal of Computer Application in Technology U.S.A.Vol .13, No.1/2, 2000, 25-41.
- [15]-Kaplan, H ; Seireg A." *Optimal design of a base isolated system for a high-rise steel structure*". Earthquake Engineering and Structural Dynamics.2001; vol 30 :287-302.
- [16]-Kaplan,H; Alsaif.K. "*Structure's base design for earthquake protection and experimental study*". Structural Engineering Mechanics 2003;vol 16:101-114.

- [17]-Kaplan,H ; Aydilek ,A."*Seismic analysis of a Low-Rise base-isolated structural system*". Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active control 2006; vol 25:93-109.
- [18]- Kaplan,H ; Aydilek ,A; Dolen,M ;Sari,D; "*Experimental and Numerical investigation of a base-isolated structure against shock disturbances using an mechanical concave-ball support with active cam-spring system*" Turkey.
- [19]-Kelly. JM. "*Aseismic base isolation: review and bibliography*". Soil Dynamics and Earthquake Engineering 1986; 5:202–216.
- [20]-Kelly. JM. "*State-of-the-art and state-of-the-practice in base isolation*". Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control (ATC-17-1), Applied Technology Council, Redwood City, CA, U.S.A., 1993.
- [21]- Kunde .M.C., Jangid .R.S. "*Seismic Behavior of Isolated Bridges: A state of the art review*", Electronic Journal of Structural Engineering, (2003).
- [22] Maria, Moroni; Mauricio, Sarrazin; Ruben, Boroschek. "*Experimentalon a Base Isolated Building in Santiago-Chile*", Engineering-Structures, vol .20, No. 8 ,1998, 720-725.
- [23]- Matsagar,V. A; Jangid, R.S. "*Influence of Isolator Characteristics on the Response of Base-Isolated Structures*". Journal of Engineering Structures U.S.A.Vol.26, N° .12, 2004, 1735–1749.
- [24]- Mokha, A ; Constantinou, M.C; Zayas,V.A. "*Experimental study of friction-pendulum isolation system*". Journal of Structural Engineering U.S.A. Vol.117 N°4, 1991, 1201-1217.
- [25] Mostaghel ,N ; Davis,T "*Representations of Coulomb friction for dynamic analysis*". Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1997;26:541-548 .
- [26]-Mostaghel. N; Hejazi M; Tanbakuchi. J." *Response of sliding structures to harmonic support motion*". Earthquake Engineering & Structural Dynamics 1983;11:355-366.
- [27]-Naeim,F ."*The Seismic Design Handbook*". 2nd .ed.,International Conference of Building Officials, Structural Engineers Association National Council, Inc Los Angeles, California, 2001, 830.
- [28]-Naeim,F; Kelly, J.M., "*Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice*", John Wiley & Sons Inc, USA, (1999)
- [29]-OZER, M. *The Linear Formulations For The Equations Of The Dynamic Responses Of Rigid And Flexible Structures Supported By Friction Pendulum Sliding (Fps) Bearings*.
< <http://userwww.sfsu.edu/~ozler/Paper%20N0-1675-OZER.pdf>>.

- [30]-Pranesh, M; Sinha, R. *VFPI: an isolation device for aseismic design*. Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics .U.S.A. Vol .29, N^o. 5, 2000, 603-627.
- [31]-Pranesh M, Sinha R. "*Behaviour of multi-degree-of-freedom shear structure isolated using VFPI*". Proceedings of the Eighth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Canadian Association of Earthquake Engineering, Vancouver,BC, Canada, 1999.
- [32]-providakis,c.p."*Effect of Supplemental damping on LRB and FPS Seismic Isolators under near- Fault ground motions*" Soil Dynamics and Earthquake Engineering
- [33]-Robinson,W.H. "*Seismic Isolation of Civil Buildings in New Zealand*", John Wiley & Sons Ltd., New Zealand, (2000) .
- [34] Skinner ,R.I; Robinson, W. H; McVerry, G. H."*An Introduction to Seismic Isolation*", John Wiley & Sons Ltd, England, (1993).
- [35]- Trevor E. Kelly "*Base isolation Of Structures*". Holmes Consulting Group Ltd.New Zealand, July 2001.
<www.holmesgroup.com/designguides/BaseIsolationDesignGuidelines-TOC.pdf>.
- [36]- Tsopelas P, Constantinou MC, Kim YS, Okamoto S." *Experimental study of FPS system in bridge seismic isolation*". Earthquake Engineering & Structural Dynamics 1996; 25:65-78.
- [37]-URGU, M, İ. "*Design Of Seismic Isolated Structures*". Izmir, August 2006, <<http://www.fbe.deu.edu.tr/tezler/2006/YL-p2053.pdf>>.
- [38]- Wulin,T ; Chihoone,C. "*Base Isolation By Free Rolling Rods Under Basemen*"t. Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics U.S.A.Vol.22, N^o.3, 1993, 261-273.
- [39]- Wang,Y.p; Chung, L.L; Liao, W.H. "*Seismic Response Analysis Of Bridges Isolated With Friction Pendulum Bearings*", Earthquake Engineering And Structural Dynamics. Vol.27 ,1069-1093 (1998).
- [40]-Zayas,V; Low, S ."A simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation" ".earthquake Spectra N^o.6 , 1990, 317-333 .
- [41]- Zhou.Q,Wang.Q ,Yao.Q "*Dynamic Analysis On Structures Base-Isolated By A Ball System With Restoring Property*" Earthquake Engineering and Dynamics .27, 1998,773-791.
- [42]-Zayas VA ;Mokha A; Amin N; Constantinou MC." *Seismic isolation retrofit of a large historic building*". Journal of Structural Engineering ASCE, 1996; 122(3):298–308.

[35]- Calvi, M; Ceresa, P; Casarotti, C; Bolognini, D; Auricchio, f.
*"Effects Of Axial Force Variation In The Seismic Response Of Bridges
Isolated With Friction Pendulum System"*, Journal of Earthquake
Engineering, Vol. 8, Special Issue 1(2004) ,187–224

[1]<http://www.freearabi.com/Earthquakes.htm>

[2]<http://www.alamuae.com/vb/t59369.html>

[3]http://eq.4eco.com/2005/01/___51.html)

http://eq.4eco.com/2005/01/___44.html[4]

[200] Farzad Naeim, James M. Kelly, "Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice", John Wiley & Sons Inc., USA, (1999)

A Sloping Surface Roller Bearing and its lateral Stiffness Measurement George C. Lee¹ and Zach Liang²
تقرير في جامعة بوفالو

8-Experimental and Analytical Study of Seismically Isolated Structures with Uplift Prevention *Michael C. Constantinou*

المراجع:

- [1]-URGU, M, İ. *Design Of Seismic Isolated Structures*. Izmir, August 2006, <<http://www.fbe.deu.edu.tr/tezler/2006/YL-p2053.pdf>>.
- [2]- Kelly, T.E. *Base isolation Of Structures*. New Zealand, July 2001. <www.holmesgroup.com/designguides/BaseIsolationDesignGuidelines-TOC.pdf>.
- [3]- Wulin,T ; Chihoone,C. *Base Isolation By Free Rolling Rods Under Basement*. Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics U.S.A.Vol.22, N^o.3, 1993, 261-273.
- [4]- Mokha, A ; Constantinou, M.C, Zayas,V.A. *Experimental study of friction-pendulum isolation system*. Journal of Structural Engineering U.S.A. Vol.117 N^o.4, 1991, 1201-1217.
- [5]-Earthquake Protection Systems (EPS), *Friction Pendulum Seismic Isolation Bearing*. October 15, 2008. <<http://www.earthquakeprotection.com>>.
- [6]- Almazan, J.L; Llera, J.CDL. *Analytical Model Of Structures With Frictional Pendulum Isolators*. Journal of Earthquake engineering and structural dynamics U.S.A. Vol.31, N^o. 2, 2002, 305-332
- [7]- Barroso, L. R. *Performance Evaluation Of Vibration Controlled Steel structures Under Seismic Loading*. March 2006. <<http://ceprofs.tamu.edu/lbarroso/research/papers/THESIS.PDF>>.
- [8]- OZER, M. *The Linear Formulations For The Equations Of The Dynamic Responses Of Rigid And Flexible Structures Supported By Friction Pendulum Sliding (Fps) Bearings*.<<http://userwww.sfsu.edu/~ozler/Paper%20N0-1675-OZER.pdf>>.
- [9]- Pranesh, M; Sinha, R. *VFPI: an isolation device for aseismic design*. Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics .U.S.A. Vol .29, N^o. 5, 2000, 603-627.
- [10]-Kaplan, H; Seireg, A. *A computer controlled system for earthquake protection of structures*. International journal of Computer Application in Technology U.S.A.Vol .13, N^o.1/2, 2000, 25-41.
- [11]- Kaplan, H; Seireg, A. *Optimal design of a base isolated system for a high-rise steel structure*. Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics U.S.A. Vol.30, N^o.2, 2001, 287-302.
- [12]-Caliò,I ; Marletta, M; Vinciprova, F. *Seismic response of multi-storey buildings base-isolated by friction devices with restoring properties*. Journal of computers and Structures U.S.A. Vol. 81, N^o. 28, 2003, 2589–2599.
- [13]-Matsagar,V. A; Jangid, R.S. *Influence of Isolator Characteristics on the Response of Base-Isolated Structures*. Journal of Engineering Structures U.S.A.Vol.26, N^o.12, 2004, 1735–1749.

[14]-Naeim,F .*The Seismic Design Handbook*. 2nd .ed.,International Conference of Building Officials, Structural Engineers Association National Council, Inc Los Angeles, California, 2001, 830.